



TITLE:

都市域における大気汚染濃度予測
に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

池田, 有光

CITATION:

池田, 有光. 都市域における大気汚染濃度予測に関する研究. 京都大学,
1974, 工学博士

ISSUE DATE:

1974-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2491>

RIGHT:

都市域における大気汚染濃度予測に関する研究

1973年 7 月

池 田 有 光

都市域における大気汚染濃度予測に関する研究

1973年 7 月

池 田 有 光

序 文

大気環境の有害物質による汚染は、近年産業、生産活動の規模の急激な膨脹によって拍車をかけられてきた。その結果汚染による災害の防止は緊急を要する課題となっている。このような大気汚染の特徴は、人口が集中する大都市や、産業が集中する産業都市に見られるごとく、その汚染源が無数であり、汚染地域が広域にわたり、単一汚染源の風下で起きる局所高濃度汚染とは異なることである。

諸外国も多かれ少なかれ、わが国と類似した状況に置かれており、世界的に都市域の汚染濃度の予測に関する研究がここ4、5年前から急に活発になっている。

都市域の大気汚染物質には、一酸化炭素、硫黄酸化物、光化学反応によって生ずる二次汚染物質等多く数えられるが、天然資源の乏しいわが国では、中近東で産出される硫黄含有率の高い重油を主燃料に利用しているため早くから硫黄酸化物による大気汚染が重大な問題となってきた。

硫黄酸化物による汚染を防止する手段は、燃料の質の改善、種類の変換、排煙脱硫、排出量の緊急時の抑制と排出源の適正配置などに分けられる。そのうち、都市で今日まで一般に行なわれてきた汚染抑制手段は、大気中の汚染物質が高濃度になってから初めてその主要汚染源に制御を依頼するいわゆる緊急時のフィードバック制御が中心となってきた。しかし災害を未然に防止するという前提に立てば、全都市域に互って汚染濃度を予測し、未然にある基準濃度を越えないようにするため指令を出すいわゆるフィードフォワード的な予測制御の方法をとる方がより効果的であると考えられる。この緊急時制御を実行するには、汚染物質排出量と汚染濃度との因果関係を明らかにし、予め最適な制御方策を求める必要がある。ここで最適な制御方策とは、大気環境の汚染を人体、動植物に有害でない濃度にし、かつ抑制による社会的経済的な損失を最小にするような方策を言う。この予測制御を行なうには、前もって次のような諸項目が満たされていなければならない。

- i) 排出源分布と排出強度のデータが得られていること、
- ii) 気象と大気汚染の状態に関する情報が迅速に得られること、
- iii) 大気汚染濃度を予測するための数式モデルが確立されていること、
- iv) 汚染の許容限界濃度と最適制御政策に関する評価関数が明らかであること、
- v) データを迅速に処理できる計算機が利用できること、

大阪地方では項目 i) の調査は詳細に行なわれている。項目 ii) についても大気汚染の常時監視網ができ、テレメーターで迅速に情報が得られるようになった。したがって同地方では、これまでに最も解析に困難な部分であった情報の種類と量の不足が相当除かれたと言える。項目 iii) についてはまだ完成されていない。それは汚染物質の大気中拡散伝播を忠実に表わす数式モデルを開発することが難かしいことと、大気の流動状態と気象現象の予測が難かしいことに依る。項目 iv) についてはまだほとんど研究の手が付けられていない。

汚染濃度予測の精度と制御の程度との関係は Fig. 1 のように表わすことが出来るよう。汚染物質拡散の数式モデルが完成すれば第二段階の制御が可能となり、i) - iv) のすべてが満たされれば第三段階の制御が可能となろう。

筆者は上述した事項のうち i) ii) の条件がある程度満たされたことを背景として、汚染物質伝播に関する数式モデルを作成し、都市域の汚染濃度を合理的に予測する方法を確立するため本研究を行なってきた。その際、複雑な大気拡散伝播の現象を単一の数式モデルで表現することはきわめて困難であるため、本論では都市の大気汚染が持つ特徴である広域性と局地性の二面性を重視して、その空間的規模に応じて広域拡散モデルと局地拡散モデルの二種類を提示し、互のモデルの不備な面を補い合った。

局地拡散モデルは、対象とする広域全体の場所的平均汚染濃度の 6, 7 時間程度の経時変化を適応論的なパラメーターの処理によって各時刻に対して予測するものである。

予測計算の際にとった仮定は、広域拡散モデルについては

- a) 対象地域を濃度均一と見なす。
- b) 汚染物質の排出源はその地域に一樣に分散している。
- c) 対象地域を面積の等しい円に置き換え、その直径を都市の大きさとする。

局地拡散モデルについては

- a) 都市全域を大気汚染監視局を1つずつその中心に持ついくつかの地区に分割する。
- b) 汚染物質の排出源は点源（発電所、重工業など巨大排出源）と面源（点源以外の汚染源）に分ける。
- c) 局を中心になんらかの同心円で地域を区分し、中心を通る16個の放射線で等分割し、このようにして得られた各扇形区割を面汚染源とする。
- d) 局を中心とする半径2 km 以内の地域の汚染濃度はその局の観測値で代表されるものとして、そのゾーンを一種の濃度均一なゾーンと見なす。

上述した考え方に基づく拡散モデルを利用して行なう大気汚染の緊急時制御システムの概念を示すと Fig. 2 となる。太線部分は適応論的方法による汚染濃度予測を示し、破線は制御の計算回路を示す。

本論文は2編15章から構成される。第1編では都市全域の平均汚染濃度を表わす数式モデルを得、その数式モデルの中に含まれるパラメーターと気象現象を関係づけている。このことにより、広域平均の大気汚染濃度予測を可能にしている。

第1編第3章では広域の汚染濃度を定量的に求める数式モデルを作成し、その計算法を示している。この数式モデルには汚染物質濃度の非定常状態を表わすため最も簡単な1階の常微分方程式を用いている。

第1編第4章では気象要素として地上天気図から気圧配置のみをとりあげ、気圧配置をいくつかの類似パターンに分類し、各パターンごとに大気の拡散浄化能力を評価することによって広域汚染濃度の予測を行なうことを試みている。気象条件を気圧配置によっていくつかのグループに分類することが、大気の状態を最

も簡単に表現する実用的な手段であるものと考えられる。

第1編第5章では気象要素として風速、風向、日射量、雲量、等の時間的に変化する量を取りあげ諸量と数式モデル、およびパラメーターの関係を検討し、その関係式を使って第4章におけるよりも詳しい気象要素による精度の高い汚染濃度の予測を行なっている。

第2編では都市域内の分割された局所での1時間平均汚染濃度を求めるための数式モデルを作成し、その数式モデル中に含まれるパラメーターと気象条件との関係を定量的に評価し、それに基づいて濃度予測のため適応論的方法を初めて導入した局地汚染濃度計算法を開発している。ここで第1編で求めた広域の汚染物質浄化を表すパラメーターを局地汚染予測に活用して、局地予測計算の精度を高めている。

第2編第2章ではこれまでに多数の研究者によって行なわれてきた大気の構造に関する研究を概説し、ついで筆者が行なった大気の実用境界層内の実用を目的とした大気混合度の定量的評価の試みを述べている。

第2編第3章では都市域を対象とした局地濃度を推定するための汚染物質輸送の数式モデルを開発している。この数式モデルは風配を考慮した遠方からの水平伝播を表す凝定常拡散式と、濃度計算地点付近での完全混合槽モデルに対する1階常微分方程式との組み合わせとして与えられる。

第2編第4章では実際に測定された汚染濃度と気象のデータを利用して第3章で提示した数式モデルに含まれるパラメーターの値を推定し、気象条件との関係を求めている。

第2編第5章では第1編で求めた広域浄化能力を示すパラメーターと前章で求めたパラメーターとの関係を明らかにしている。

第2編第6章では第4章で得られたパラメーターを利用して2,3の方法による適応論的な濃度推定を試みている。さらにこの計算結果に基づき広域の浄化能力を考慮して濃度予測を行ないその推定精度についての考察を行なっている。

第2編第7章では筆者が提示した局地汚染濃度予測モデルと定常拡散公式による濃度推定の代表的な方法である Pasquill (2-1) による方法で求めた濃度計算結果を比較し、筆者の数式モデルによる予測値の精度についての実用性を評価している。

第2編第8章では本論で行なっていない大阪地方全域の面的な濃度分布が予測できたものと仮定して緊急時制御の計算を試みている。

First Step:
Uniform control of
emission sources

A prediction of pollution
level is not accurate enough.

Second Step:
Block control of
emission sources

Even if a prediction of
pollution level is accurate,
an objective function of
optimal control is indefinite.

Third Step:
Individual control
of emission sources

A prediction of pollution
level is accurate and an
objective function is definite.

Fig.1 Control Policy and Accuracy of
Prediction of Pollution Level

追記：本書は京都大学工学部の学位審査論文で昭和48年7月提出されたものである。

池田有光

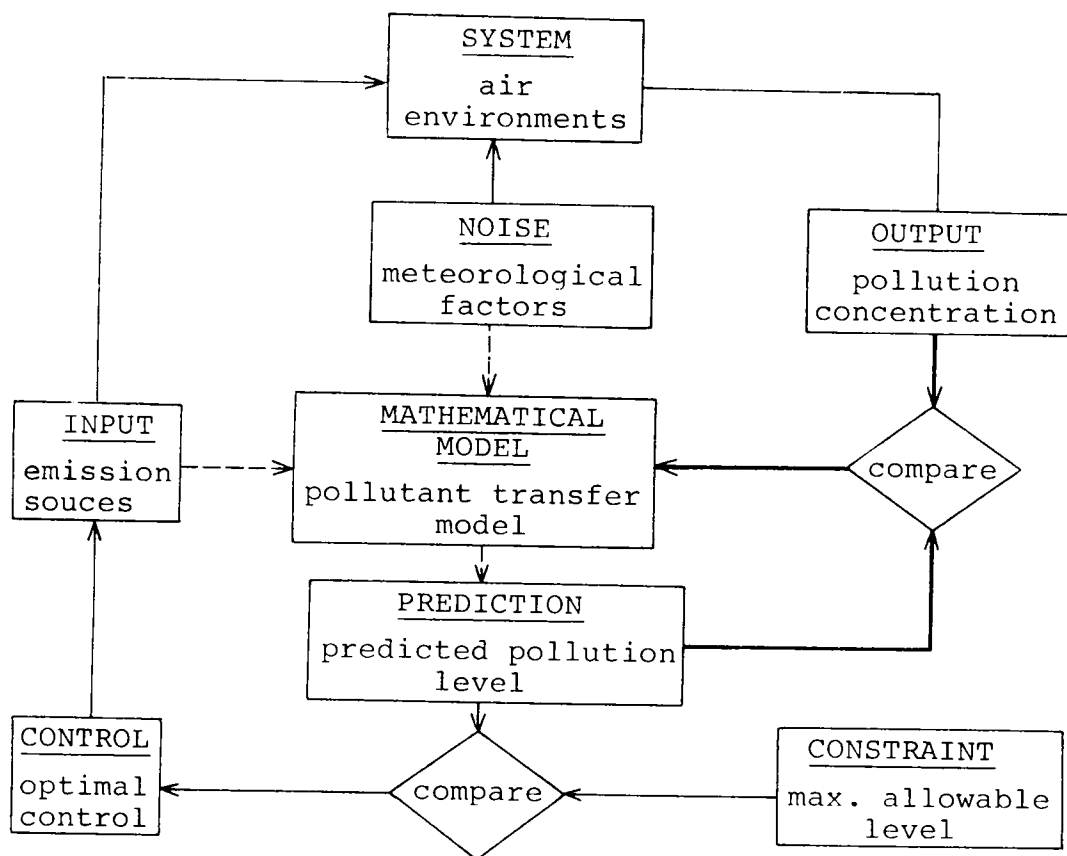


Fig.2 Conceptual Diagram for Air Pollution Control System

目 次

序 文	1
目 次	7
第1編 都市域の平均大気汚染濃度予測と浄化能力	12
第1章 緒論	12
第2章 大気汚染と気象	15
第1節 概説	15
第2節 広域気象と定性的大気汚染予測	18
第3節 風	20
第4節 気温	24
第5節 都市気象	25
第3章 都市スケールの大気拡散数式モデル	27
第1節 概説	27
第2節 従来の研究	27
2-1 広域気象と定量的な汚染予測	27
2-2 広域拡散数式モデル	28
第3節 広域拡散の数式モデル	29
3-1 広域拡散の基本モデル	29
3-2 パラメーターについて	32
第4節 数値実験の計算条件	33
4-1 汚染物質排出強度	33
4-2 平均汚染濃度	34
4-3 気象観測値	36
第5節 要約	36

第4章	気圧配置と浄化能力	38
第1節	概説	38
第2節	気圧配置の分類	39
第3節	気象の分類作業と分析	40
第4節	数式モデルの適用とパラメーターの推定	42
第5節	パラメーターの推定結果 および考察	47
第6節	広域汚染濃度の推定 および考察	57
第7節	要約	60
第5章	気象要素と浄化能力	65
第1節	概説	65
第2節	数式モデルの適用とパラメーターの推定	65
第3節	浄化能力の推定結果 および考察	67
3-1	パラメーターZに関する考察	67
3-2	海陸風交代による汚染大気の流れ	75
第4節	汚染濃度推定結果 および考察	78
第5節	要約	84
第6章	結論	89
第1編	の記号表	92
第1編	の引用文献	94

第2編	都市域の局地の大気汚染濃度予測と制御	99
第1章	緒論	99
第2章	大気拡散と安定度	102
第1節	概説	102
第2節	実用を目的とした風速分布と大気混合度	105
2-1	風速分布と気温分布	105
2-2	鉛直方向混合拡散係数	106
第3節	要約	109
	記号表	111
第3章	大気汚染物質輸送モデル	113
第1節	概説	113
第2節	従来の研究	114
2-1	拡散方程式の解	114
2-2	相似理論を基礎とした渦拡散	120
2-3	拡散公式と拡散パラメーター	127
2-4	都市域への拡散公式の応用	128
第3節	都市域を対象とした汚染物質輸送数式モデルの定式化	133
3-1	大気境界層内輸送数式モデル	134
3-2	接地境界層内輸送数式モデル	137
3-3	拡散輸送モデルのまとめ	140
第4節	要約	140
	記号表	143
第4章	数式モデルの適用	146
第1節	概説	146
第2節	濃度計算の条件設定	147

2-1	汚染源データについて	147
2-2	気象データについて	148
2-3	汚染濃度データについて	148
2-4	計算の対象地点について	148
2-5	数式モデル中のパラメーター推定法	149
第3節	パラメーターの考察	150
3-1	パラメーター σ_z	150
3-2	パラメーター z	154
3-3	パラメーター ξ	155
3-4	パラメーター γ	160
3-5	パラメーター k	161
第4節	要約	167
	記号表	169
第5章	広域と局地拡散パラメーター	171
第1節	概説	171
第2節	パラメーター z と ξ の関係	171
第3節	パラメーター z と z の関係	174
第4節	要約	176
	記号表	177
第6章	局地汚染濃度予測の方法と結果	178
第1節	概説	179
第2節	適応論的な方法による計算結果および考察	180
2-1	パラメーター推定に温度変化を考慮しない場合	180
2-2	パラメーター推定に温度要素を考慮した場合	184
第3節	広域拡散パラメーターの導入による濃度予測	188

3 - 1	汚染濃度推定計算法	191
3 - 2	計算結果および考察	194
第4節	要約	200
	記号表	203
第7章	他の数式モデルとの比較, 検討	205
第1節	概説	205
第2節	煙の広がり正規分布を仮定した定常拡散公式の適用	205
第3節	計算結果と考察 および適応モデルとの比較	207
	記号表	212
第8章	緊急時制御	213
第1節	概説	213
第2節	制御計算のアルゴリズム	213
2 - 1	許容濃度の限界の設定	213
2 - 2	制御の方法	214
第3節	制御計算法と計算結果	216
第4節	要約	219
	記号表	229
第9章	結論	230
	引用文献	232
結 び		241
第1編の付録		242
第2編の付録		275

第1編 都市域の平均大気汚染濃度予測と浄化能力

第 1 章 結 論

自然大氣中に排出される有害ガスの輸送伝播過程の解析とその定量的な濃度推定を行なおうとするとき遭遇する問題は、主に次の 4 項目である。

1) 実際の煙の拡散の状態を示す簡単な数式モデルがない。

汚染物質の媒体である大氣は地表面を唯一の境界面とし、その表面の粗度は山、丘、川、建物の存在によって不規則に変化し大氣の流れを複雑にする。空氣の流れは常にその方向を変え、大氣中を漂う物質は河川を流れる水のようには行き先が定まらず 3 次元的に流動する。

2) 上空の大氣の流動状態が十分明らかでない。

地表から上空数百 m までの大氣流動の観測値を常に得ることは不可能であるため、それらを地表面近くの観測値から推定せねばならない。しかしその推定値の精度は決して高くなく、この情報の不足が拡散伝播のメカニズムの分析に大きな障害となっている。近年、各地で大規模な野外拡散実験が行なわれるようになり、トレーサーの濃度の測定と同時にトレーサーの流れる大氣層の気温分布、風向、風速分布を観測することによって直接大氣条件と拡散輸送の関係が断片的ではあるが明らかとなってきた (1, 2, 3, 4)。しかしながら地上での観測値を使用して上空の大氣条件を十分推定できるまでには到っていない。

3) 大氣汚染濃度を予測するために必要な気象因子の予測が不十分である。

煙の移動と拡散に直接作用する空氣の流動は気象条件の影響を常に受け、それはまた非定常にきわめて複雑な変化をする。大氣の混合強度は空間的な気温差によって生ずる対流と傾度風のシヤーが組み合わさって決まるが、このような大氣の状態の予測をその値そのものでなくても、たとえば日射量などの間接的な要素から正しく行ない得れば、そのような要素を正しく予測することが汚染濃度の予測を現象論的に行なおうとする場合の前提となる。その際、気象要素に関して 2 つの問題が解決されねばならない。その 1 つは大氣汚染濃度とあ

らゆる気象条件とに関するこれまでに蓄積されているデータを分析することによって、汚染物質の拡散に大きな作用を与える気象要素がどんな種類のものであるかを見つけることであり、他の一つはその気象要素の予報の可能性と予報精度の限界を明らかにすることである。それは気象研究の側に立てば汚染予報に必要なとされる気象要素のうち、どの項目が何時間先あたりまでどの程度の精度で予報可能であるかを明らかにすることを意味する。仮に大気汚染予報に必要な要素のうち予報が十分に行えない項目があれば、気象研究の側がそれを予報可能な項目でおき変えられないものかどうかを大気拡散の研究者の側へ働きかけ、妥協点を見つけることになろう。ここでぜひ必要な気象因子であるにも関わらずその時点での気象学上の知識をもってしても予報の精度が低く、かつそれに代わる因子をも見つけることが困難なときには、大気汚染研究者の側はそれと将来予報可能となるものとの前提に立って先へ理論を進めざるを得ない場合もでてくる。

大気汚染物質の拡散特性に大きな作用をする気象要素を見つける努力は多数の研究者によって行われてきたが、測定されている気象要素にはその種類と時間的、空間的な詳しさに制限と限界があり、それが必要とする気象要素を見つけだす際の抑制力となっている場合が多い。このことが気象の側に向って行なうべき濃度計算のために必要な気象要素の測定の要望と働きかけを弱める原因となることを否定できない。

4) 入力となる気象要素の詳しさに対する予測精度の関係がわからない。

大気汚染濃度を何らかの数式モデルを使って推定しようとするとき現象に合った数式モデルを作成することと同時にその数式モデル中に含まれる大気条件によって支配される拡散パラメーターの数値の正しい推定が、必要である。気象条件は種々の因子によって表わされるが、どの因子をどの程度まで詳しく知ったならばどのような正確さで汚染濃度を推定できるかを解き明かすことは、気象条件の予測の目標をはっきりさせるうえで非常に有意義なことである。

以上，拡散過程の解析時に会う主要な問題を4つあげたが，いずれにせよ気象の問題と大気拡散輸送の問題をシステムティックに組み合わせた研究を行なっていくことが大気汚染濃度の予測精度を高め効果的に行なうためには必要である。

従来行なわれてきた広域の平均汚染濃度の予測と本編による方法との違いは，従来の方法が気象条件と汚染濃度の相関から気象予報に基づいて定性的な汚染濃度の予報をしてきたのに対して，汚染物質の排出強度の経時変化，気象条件と浄化拡散を表わすパラメーターの関係式を使って汚染源と汚染濃度の関係を明らかにしながら定量的な汚染濃度の推定を試みていることである。

本論文で第3章では数式モデルとそれに含まれるパラメーターを提示し，第4章では地表面の気圧配置のみが正しく予測できる気象情報と考えてそれを利用して大気汚染濃度の予測を行なう。第5章では気圧配置のような巨視的な情報でなく，風向，風速，日射量，雲量の経時変化が正しく予測できるものと考えて，それらを利用して汚染濃度の予測を行なう。これらの予測結果は必要とする予測精度を得るにはどれだけの気象情報があればよいかを明らかにするであろう。

第2章 大気汚染と気象

第1節 概説

大気の有害成分による汚染はその形態によって2つに大別することができる。その第1は広域を覆う大容量の空気が高濃度に汚染される場合である。風が静穏であって空気が移動しないときや、地表面近くの大気が不安定で風の乱れが強いが数百m上空に気温の逆転層が存在して都市域を覆う大気が全体としては同じ位置に停滞し、全体の大気汚染濃度が非常に高くなる時である。このような場合にはスモールスケールよりもメソスケール、シノプティックスケールの気象状態によって汚染物質の他の地域への輸送拡散を評価することができる。第2は煙源の風下で発生する疾風汚染の場合である。この場合汚染現象は地表面より数十m上空以下の接地境界層内の風向、風速、大気安定度などのスモールスケールの気象状態に支配される。

大工業都市は排出量の多い巨大汚染源とともに中小規模の汚染源が面的に分布しているため、汚染は局地性と広域性の2つの面の特徴を合わせて持っている。このような地域の汚染濃度の面的分布を予測する際にはシノプティックスケール、メソスケールの気象条件のデータをスモールスケールの気象条件のデータとの併用が合理的である。気象現象のスケールと大気汚染のスケールの関係を示すとFig. 1-1のようなブロックダイアグラムとなる。気象でいうスケールの説明はTable 1-1に与える(5,6)。

シノプティックスケールの気象現象は地形の影響を受けてあるメソスケールの気象現象を引き起こす素地を作る。メソスケールの気象現象はまた局地的な規模の地形の影響を受けてあるスモールスケールの気象現象を生ずる素地を与える。

大きなスケールの気象現象はその周期も長いいため巨視的ではあるが比較的長期の予測をたてることが可能である。スモールスケールの予報の項目は主に大気境界層内の風向、風速、混合拡散能力の目安となる諸量であるが、これらの気象現

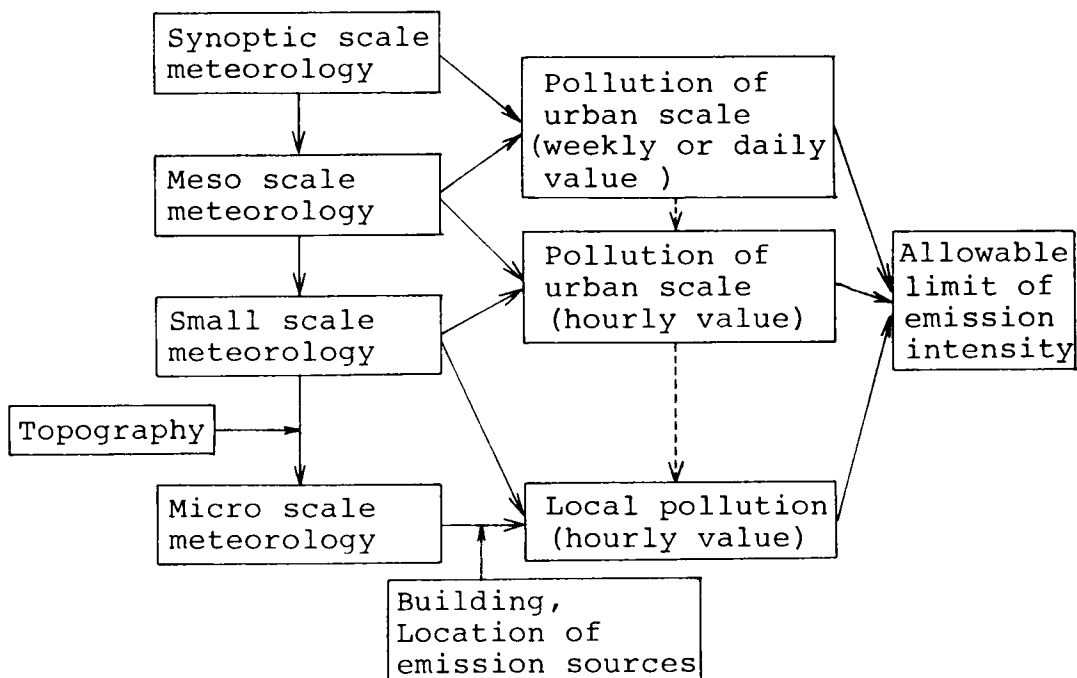


Fig.1-1 Meteorological and Pollution Scales

Table 1-1 Meteorological and Pollution Scales

Meteor. scale	Horizontal length	Vertical length	Meteorological phenomena	Species of pollutants
Synoptic	$>10^6$ m	1-20 km	Siberia anti-cyclone, Extra-tropical anti-cyclone	Urban scale pollution of SO_x , Photo chemical smog
Meso	10-100 km	1-6 km	Local anti-cyclone	Local pollution of SO_x
Small	1-10 km	5, 6 m 2, 3 km	Sea and land breeze	Pollution in a street of CO, NO
Micro	5, 600 m	5, 6 m	Gustiness	

象はその周期が短いこと，気象観測網が粗いことによる情報の不足，従来の研究が霜の発生，最大風速，最低気温，等いわゆる農業，漁業などの防災を目的としての天気の評価に主眼をおいてきたという歴史的な経過をたどってきているなどの点から高い精度の予測をたてることが非常に困難である。そこで局地的な気象予測，ひいては局地的な汚染予測の不十分な部分を広域的なデータによる現象の分析で補うことがとくに必要となる。

Bross(7)は気象予測の方法を次のように分けて説明している。

- 1) 持続法：現象のパターンが変化しないものと仮定し，現在の状態がそのまま将来にも持続するものとする。この方法は状態の変化が遅いときに有効である。現在の状態とは物理的な量の場合もあり，物理的に意味を明らかにできないものの場合もある。
- 2) 傾向法：現在までの傾向をそのまま将来へ延ばす方法である。
- 3) 周期法：現象の変化の周期性を利用する方法である。短期の予測は一種の傾向法とみることができ，傾向法を一層完成させたものといえる。気温の変化のような要素を予測するのにたびたび使われる。
- 4) 関連法：ある事象の資料を使って他の事象を予測する方法で，たとえば大阪地方の天気を予報するのに前日の九州の天気から推定するような方法である。一種の数式モデルを利用する場合もある。
- 5) 類似法：事象の間の対応関係を利用する方法で関連法と異なる所は，数式モデルの予測をもって実際に対する予測に代える点である。これには理論的な公式によって予測する純理論的類似法と，風洞実験などの類似性によって予測する実験的類似法があげられる。

大気汚染濃度の予測は上述の方法等で得られる気象予測値の他にいくつかの物理量を必要とする場合が多い。したがってこれらの物理量の推定にも上述の1) - 3)の方法が有効であろう。

第2節 広域気象と定性的大気汚予測

広域を対象に高濃度汚染が生ずるかどうかを予測する研究はいくつかあげられる。これらはいずれも大規模な気象現象とその組み合わせから定性的に汚染の程度を判定する方法である。

Niemeyer L.E (8) は経験的に Table 1-2のような気象要素の組み合わせを考えた。そして浮遊煤塵の日平均値を対象に気象要素と汚染度の解説をしてい

Table 1-2 Criteria of a Foundation for Forecasting Air Pollution Potential by Niemeyer L.E.

- | | |
|-----|---|
| (1) | Surface wind less than 8 knots |
| (2) | Winds at no level below the 500 mb. level greater than 25 knots |
| (3) | Subsidence, the slow sinking or settling of air from aloft below the 600 mb. |
| (4) | Simultaneous occurrence of the above with the forecast continuance of these conditions for 36 hours or more |

る。Boettger C.M. (9) はロッキーマウンテン東部の大気汚染ポテンシャルについて、Niemeyerの方法を使って対象領域を拡張して行なった。BoettgerとSmith (10) はナッシュビルを対象にして試みた大気汚染予報の結果を統計的に示している。予報は大気安定度と地上風の基準を次のように設定し、3段階に分けた汚染の程度を定性的に予報している。

Table 1-3 Criteria of Forecasting the Intensity of the Air Pollution by Boettger C.M.

Stability Index (SI)		Surface wind speed (knot)	Pollution level
SI > 0	and	WS < 7	} High Low
SI < 0	and	WS < 7	
SI > 0	and	WS > 7	
SI < 0	and	WS > 7	Little or no

ここで安定度指数 SI とは 900mb 面の気温からその日の 6 時の予測された地表面上の気温を差し引いた値である。気温の予測は 850mb 面の気温に雲量と風速で

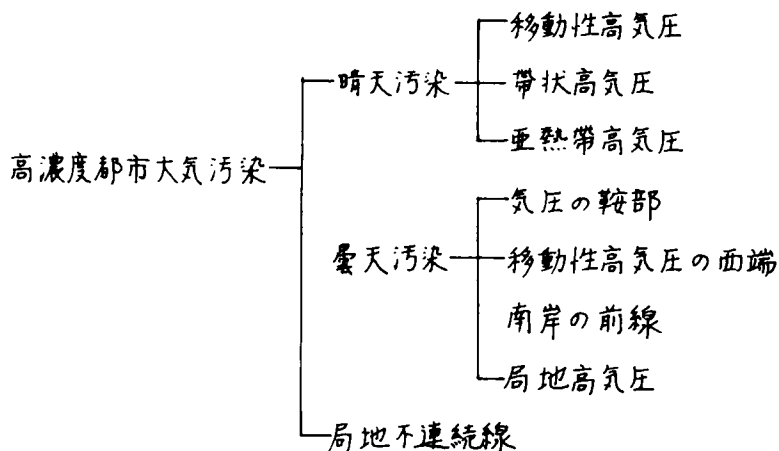
補正したものを利用し、地上風は予想天気図と気圧傾度から推定している。

Holzworth(11) は米国西部地方について数日平均の大気汚染濃度の予報を目的として、高気圧の停滞と大気汚染度の関係を事例でもって示し、背の高い停滞性高気圧に関連して、弱い風速と大気の混合する深さの浅い現象が長く持続すれば高濃度汚染が起きるので、それらを予測すれば汚染ポテンシャルを予測することができるとしている。

わが国で発生する大気汚染は、本邦が移動性高気圧の通路にあたり気象の変化周期が短いため、欧米で発生する大気汚染と比較して高濃度で短期間の汚染を特徴としている。なおわが国で長期汚染といえども米国などの例よりもはるかにその時間的なスケールが小さいことを認識せねばならない。

わが国の大気汚染と気象の一般的な特徴としては、従来その地域が高気圧に2,3日続けて覆われるとき、前線の通過する前、あるいは気圧の鞍部にあるとき等の気圧配置での気象状態が論ぜられる。

気圧型の基本的分類は次のようになる。(a) 西高型、(b) 南高型、(c) 東高型、(d) 北高型、(e) 移動性高気圧、(f) 気圧の谷、(g) 低気圧、(h) 前線、(i) 高圧帯、補助的には強中弱、南偏、北偏、前面、後面、等の言葉を付加している。原田(12)は高濃度の都市大気汚染を気象状況と対応させ、発生機構によって次のように分類している。



ここで局地高気圧、局地不連続線はその発生が地形と密接に関連している。現在網の目状に張られた定点気象観測所の間隔はおよそ 200km 以上であるので局地高気圧などを十分な精度をもって観測することはできない。局地不連続線は都市の広さの規模であり、海風、陸風の境界がその例である。この不連続線があると、その地上から鉛直上方に厚い汚染大気の層をつくり鉛直方向への拡散希釈を低下させる。中野 (13) は原田と同様な気圧配置と大気汚染濃度の関係を論じている。さらに大阪市内について 2 地点の亜硫酸ガス濃度と浮遊粉塵濃度の日平均値、地上 100—500m のパイロットバルーンによる平均風速、および生駒山頂と大阪管区気象台の気温差との関係を図示することによって気象条件と広域の高濃度汚染発生の定量的な関連づけを行なっている。また気圧配置と高濃度汚染発生の例を幾日があげて分析している。しかしまだ確率論的に予測の精度を論ずる所まで到っていない。

第3節 風

大気中に排出される汚染物質は風によって運ばれる。その輸送は空気本体流れと安定度によってきまる拡散の作用による項に分離して表現される。本体流れはいわゆる時間的な平均風速ベクトルでその特性が測られる。水平風の鉛直方向の分布特性は一般に上空へいくほど大きくなるが、その高さによって空気本体に効く物理的要素が異なってくる。高度が 500m 程度以上の風ベクトルは、気圧傾度とコリオリ力、遠心力の 3 つの力の平衡した傾度風である。その内気圧傾度はシノプティック およびメソスケールの気象データから推定される。このように推定される広域風は高い山があれば当然その局地地形の影響を受ける。高度が 500m 以下になると風ベクトルは傾度風と局地地形の他に太陽の幅射による地表面の加熱によって生ずる自然対流の影響を受ける。このような局地風の例に山谷風、海陸風があげられる。海風は日中よく晴れた日、内陸の地表面大気が暖められると海岸にはほぼ直角に海から陸に向かって吹く。このような風の発生の予想は局地的

な気象分析のみでは不十分であり、広域的な気圧配置から推定される雲の存在と量を知ることが必要とする。

大気汚染で問題となる風向、風速は地上 500—800m 以下のものである。地表面から数十 m までの接地境界層内の風速分布は実験的にも理論的にも研究されている。Goldstein (14) は風速分布の対数法則を理論的に導き、Deacon (15) は実験的に風速分布のべき法則を導いた。また Monin と Obukhov (16) は対数法則を気層の安定度と熱的影響を考慮した式に発展させている。高さ数十 m から上方の風のベクトルの分布はまだ不分明ではなく、その地点での風を推定する場合、風速については地表面近くの風の観測値を使って分布法則を延長して求めた値を利用し、風向は上空まで等しいものとおいている。地上で測定される風向と 200—400m 上空の風向との間にどの程度違いがあるか、あるとすればその大きさはどの程度であるかを知ることは、常時上空の風向を測定しない観測体制では大気汚染物質の移流に関してきわめて重要である。これまで行なわれた野外観測実験 (1, 2, 3, 4) の乏しいデータから地表付近、その上空 100 m, 200m, 300m での風向の同時観測データをまとめると Table 1-4 となった。データは日本気象協会が行なった横浜、水島、鹿島、阪神の気動状態調査の結果である。同表中の数値は同時刻に測定された地表近くの平均風向からの各高度ごとの平均風向の偏り角を示し、かつこの数値は偏った平均風向のまわりの標準偏差である。このデータの結果によると一般に上空へ行くにつれて地表観測値からの平均的な偏りが大きくなっており、またその風向の分散も大きくなっている。上空 300m 以下での平均風向のふれは水島地区の 300m 層の値 26.2° を除いてほぼ 16 等分の方位角 22.5° 以下であることから地上風向をそのまま上空の風向に代用してもあまり問題を生じないものと思われる。

風の乱れは高度が 1000m 程度以上になると地表面の影響をほとんど受けなくなるため、地表近くで大きく上空 200—500m で最大となってそれ以上の高度では高さとともに減少する。

Table 1-4 Heights from the Ground Surface and Deviation of Wind Direction

Heights from the ground (m)	100	200	300
Mizushima	10.5 (29.5)	16.6 (31.1)	26.2 (43.9)
Yokohama	-22.3 (25.4)	-22.2 (38.3)	-22.4 (34.2)
Kashima	-9.7 (10.1)	-9.0 (10.5)	-7.9 (13.6)
Hanshin	1.9 (15.7)	7.6 (37.5)	8.3 (40.8)

Parentheses show standard deviation from a mean wind direction, Unit: degree, +: clockwise,

風の予測には気圧配置とある地点での風向、風速との関係を経験的に求めておき、気圧配置の予測からその地点の風を予測するという方法がよくとられる。大阪管区気象台で行なっている例での最大風速の予測には、天気図をいくつかの種類に分類して、その分類に対して大阪福江間の気圧差、大阪銚子間の気圧差と風速の関係を回帰曲線で図示したチャートを使っている。福江は長崎県の西部、東経129°にあり、銚子は東経191°にあるため大阪はちょうどその中間に位置している。この予測法は関連法であるといえる。

高濃度汚染の発生は、高気圧の中心ないしは後面が長時間にわたって持続する日に多い。そのような日には陸地の気温と海上の気温との差が大きくなり海陸風の発生する場合がきわめて多い。臨海都市ではこの1日を周期とする海陸風の現象によって一度都市上空から他の地域、すなわち海上ないしは内陸へ風によって押し流された汚染大気が再び都市上空へ逆戻りして汚染濃度を高めるものと推定される。Table 1-5は大阪市東区森の宮にある大阪府公害監視センターにおける硫酸化物の高濃度汚染日と海陸風の発生頻度との関係を示している。これによると海陸風の発生日で1日平均値が0.1ppm以上の濃度となる割合は57%であり、これは全高濃度日19日間の63%に当たる。海陸風の発生日と海岸に近い

平尾局の日平均風速の関係は Table 1-6 に示される。これから日平均風速の弱い時ほど海陸風が発生しやすいことがわかる。大阪管区気象台で観測されたデータによる時刻毎の海陸風発生頻度は Table 1-7 に示される。同地点では午前11時頃が海風の始まる時刻であり、20時頃が陸風の始まる時刻である。

Table 1-5 Sea and Land Breeze, and High Pollution

Frequencies of a day over daily average 0.1 ppm at the Center Station	19
Frequencies that sea and land breeze is observed at the Hirao Station, and a pollution level is over daily average 0.1 ppm at the Center Station	12
Frequencies which sea and land breeze is observed	21

Dec.1 '68 - Feb.28 '69(excepted Sunday and holiday)

Table 1-6 Occurrence of Sea and Land Breeze, and Wind Speed

Daily mean wind speed at the Hirao Station	Frequencies of sea and land breeze occurrence
$U < 2$ m/sec	12
$2 \leq U < 2.5$ m/sec	9
$U \geq 2.5$ m/sec	5

Table 1-7 Switching Time of Sea and Land Breeze, and Frequencies (Nov.'68 - Feb.'69)

Classifi- cation	Land breeze											
Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frequency							1	1	6	11	13	6
Classifi- cation	Sea breeze											
Time	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Frequency	10	5				4	5	9	7	5	3	1

海陸風が吹いている時、数百 m 上空に到る高度までの風速分布がどのようになっているかについては十分なデータがないので明らかでないが、神戸海洋気象台が播磨平野で昭和 40 年 7 月に行なった観測では、海風の及ぶ高さは 600—700m、その最強高度は 300m であったといわれる (17)。また熱力学、流体力学の理論による海陸風の数値解析も近年試みられているが (18) 利用できるところまでに到っていない。

第 4 節 気温

気温の鉛直分布は、大気の鉛直方向の乱れ混合の強さにきわめて密接な関係を持つ。ある空間での気温を支配する要素は 2 つに分けられる。それは (a) 移流による気団が持つ温度と、(b) 輻射によって温度が変化する地表から接地層内空気への伝熱効果、である。この内前者はシノプティック、メソスケールの気団が持つ特性であり、これはノットサウンズなどによって上層数百 m 以上の気温を調べれば明らかとなる。後者によって起こる気温変化は気象現象の内、日変化をするもっとも顕著な要素であり、毎日の大気汚染濃度の 1 日の周期性と密接な関係を持つ。Fig. 1-2 は地表面気温の平均日変化を示す。

大気汚染濃度と気温変化との一般的な傾向は日夜とも晴天のときは 1 日の最高最低の温度差が大きく、汚染度は最低気温の発生する時刻より 2, 3 時間後に最高となり、最高気温の発生するあたりで低くなる。また夜間曇天で翌日の昼間に天気がよくなるとき、日中の汚染濃度が相対的に低く、夜間晴天で翌日の日中に曇天のときは高くなっている。

気温予報にわが国で一般によく利用されているのは高橋の式である (19)。この式は日中の気温、また夕刻の気温から翌日の気温を求める実験式である。名古屋気象台では高橋の式を基礎にして作った気温予報図表を使っている。葛西 (20) は気温の予測の作業と統計的手法を発表しているが、それによると任意の時刻から他の任意の時刻の気温を予測する表を作っている。パラメーターは風速、雲量、

雲の質，露点である。

第5節 都市気象

都市域に広がっている市街地を構成する建築物は都市域を田園地域とは異なった気象状態にする。この現象の存在は1世紀以上前から確認されている(21)。今世紀に入って世界の諸都市で、この都市内の諸現象が数多く測定され発表されている。しかし本格的な理論研究が行なわれるようになったのは1950年以後である。DuckworthとSandberg(22)はサンフランシスコ市の中心部と公園地帯の温度差の測定で 10°C を超えた場合を記録している。Krantzer(23)は都市のヒートアイランドが発生するのは都市全体を汚れた空気が覆っていることによると主張している。

都市域と郊外の気温データを比較すると都市域では夜間に高く、昼間に低い結果がでる。Krantzerは都市上空の汚れた空気が夜間の地表からの熱放射を妨げるものと推定している。Bornstein(24), Chandler(25)らは都市中心部での水蒸気圧の減少を指摘している。これまでにヒートアイランドの発生する理由にあげられている項目は次のようである。

- a) 人工的熱源が面的に存在する。
- b) 汚染大気に覆われるので太陽放射，夜間放射を妨げる。
- c) 都市域の建築材料は熱容量が大きいので田園より冷え難く，暖まり難い。
- d) 郊外は平面であるが市街地は立体的であるため加熱冷却のパターンが異なる。

都市域上空の大気拡散は、このような都市気候と建物の存在による地表面粗度の大きいことによって独特の挙動を示すものと考えられる。したがって都市気象の効果を無視しては汚染濃度の予測を行なえないであろう。この定量的な裏づけは第2編第2章第2節での都市域内の風の鉛直プロファイルや第4章第3節のパラメーターの挙動によっても認められる。

Murrun(26)は地表のエネルギーバランスの式から、地表面気温の日変化を求め

ている。それによると、輻射フラックスは蒸発率と水の潜熱の積、大気中への伝熱フラックス、土中への熱フラックスの和で表わしている。都市域のように人工熱源があるときには、正味の輻射の項にそれ相当の熱フラックスを加えて計算している。

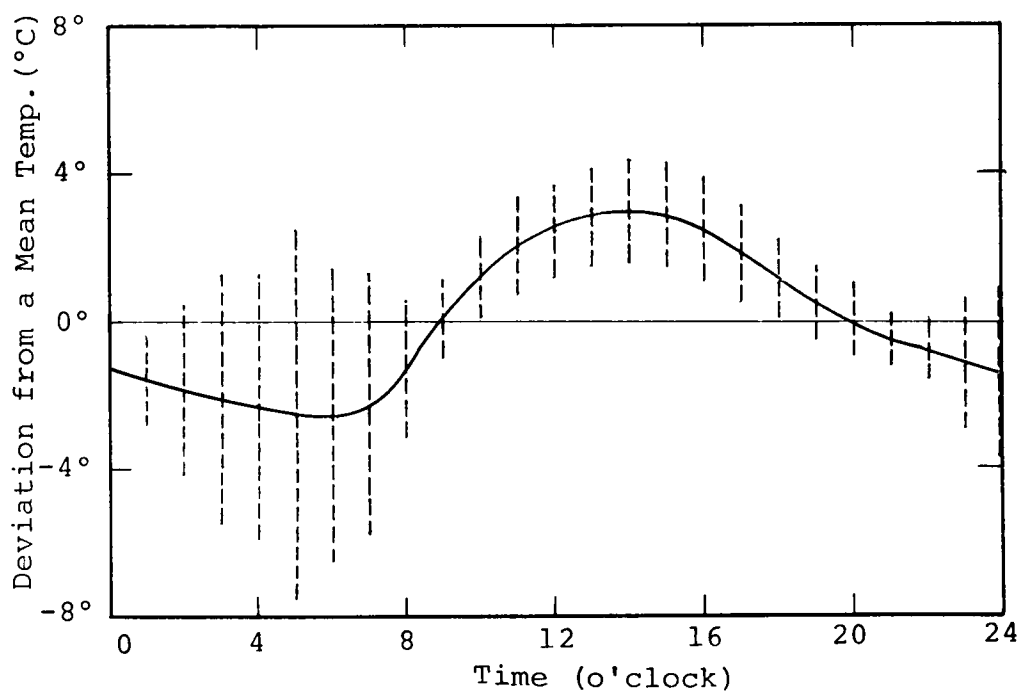


Fig.1-2 Fluctuation around a Daily Mean Temperature

第3章 都市スケールの大気拡散数式モデル

第1節 概説

第2章では定性的に大気汚染と気象条件の関係を空間的スケールと対応させて論じたが、定量的な広域汚染は単一汚染源による局所汚染を対象とした場合とは当然使用すべき気象要素を異にする。そのよい例に海陸風や局地高気圧が示す広域汚染への作用をあげることができる。局地高気圧は同じ所に気塊を停滞させ、汚染物質を蓄積する。したがってこのような気象現象を情報として利用し得る濃度計算モデルを開発する必要がある。

本章では第2節で従来行なわれてきた広域汚染に関する研究を紹介し、続いて第3節では広域大気中での汚染物質の混合拡散力を定量的に評価し、濃度予測するための数式モデルを提示する。

第2節 従来の研究

2-1 広域気象と定量的な汚染予測

広域の平均的大気汚染濃度予測を対象とした大気汚染物質の混合輸送を定量的に取扱った例には、Dickson (27), Williams (28), Miller (29) らによる研究があげられる。

Dickson, Williams は気象現象と汚染の程度を独特の方法で関係づけたのに対して、Lucas (30), Turner (31), Pooler (32) らの提示している方法は簡単化した定常拡散公式を都市域濃度計算に応用したものである。

Dickson (27) は米国シンシナティ、ナッシュビルの煤塵濃度の推定を行なった。その方法は統計的解析によって求めた線図を書き込んだ共軸座標グラフから推定するものである。汚染度に影響を与える気象要素には、24時間の日射量、風向、風速、大気安定度、雨量をあげている。大気の安定度は1日の内の地表面と950 mb面との気温差の最高値と最低値の平均を採用している。前述の必要な気象要

系さえ予測すればグラフから定量的な日平均煤塵濃度の予測を行なうことができるとしている。Williams (28) も米国ユタ州にあるソルトレークバレーの高汚染ポテンシャル予報に汚染の定量的表現として視程のインデックスを使用し、気圧、大気安定度、風速が得られれば図表からそのインデックスを推定できる方法を得ている。ここで視程インデックスは24時間にわたる煙による総視程の減少を数値的に表現するものと定義されている。

大気汚染ポテンシャルとは気象学的には36時間以上にわたって大気中にある大気汚染物質が蓄積を続ける一連の天気の状態であると定義されている(29)。したがってそれは汚染物質の発生源の有無とは関係しない。第2章第2節で紹介したようにNiemeyer (8), Boettger (9) らは汚染物質の蓄積し続ける気象条件について論じている。

Hosler (33) は気温の逆転ないしは等温位の地点の層の厚さとその時間変化を表に示した。Neiburger (34) は逆転層を拡散の障害物として初めてとり入れた。Holzworth (35) はHoslerの研究を基礎にしてその層の厚さを大気汚染物質の鉛直方向の混合の範囲の推定に役立てる研究を行なった。地上から鉛直上方向へ混合する範囲を混合深さと呼ぶが、彼は12か月にわたって最大混合深さの月平均値を求めている。Miller (29) は混合深さとその層内の平均輸送風速による汚染ポテンシャル予報に関する研究を行ない1967年に予報の方法をほぼ完成させた。この方法は米国の天気局が行なう大気汚染ポテンシャル予報に取り入れられ、1967年11月天気局から大気汚染ポテンシャル予報計画が発表され、それ以来米国全域に同予報が行なわれている。

予報には日最大混合深さが使われるが、これは推定した1日の内で最高の地表面気温から上方向へ乾燥断熱減率線を引きそれが気温プロファイルと上空で交わる点までの高さとしている。この混合深さは次のような諸現象を除外している。

- a) 鉛直混合を増大減少させる風の壅断力による効果を除く、
- b) 力学的な擾乱効果を除く

- c) 鉛直気温プロファイルに変化を起こす移流を無視する。
- d) 気団の沈降効果を無視する。

天気局で行なっている予報の種類は翌日の午後の混合深さと平均輸送風速、およびその日の朝に午後の混合深さと平均輸送風速を予報する2種類で、前者の予報の誤差は後者の予報誤差の2倍であるといわれる(36)。

2-2 広域拡散数式モデル

都市全域にわたる平均的汚染濃度を推定ないしは予測するための数式モデルをここでは広域汚染数式モデルと呼ぶことにする。広域汚染を排出強度を与えて定量的に推定するモデルは非常に少ないが、このようなモデルには Miller と Holzworth(37) や Holzworth(38) によって表わされた式があげられる。彼らによって提案された数式モデルを Table 1-8 に示す。いずれのモデルも定常状態を表わすことを特徴としている。記号 D_m は天気局の混合深さの予報値を使う。右辺かっこ内の第1項目の積分の下限 50 とは煙突からでた状態が 50sec 経過した時点から計算を始めることを意味する。

第3節 広域拡散の数式モデル

3-1 広域拡散の基本モデル

広域の大気汚染の高濃度発生の可能性を定量的にかつ簡潔に評価する方法の例として、大気混合深さとその層内の平均輸送風速を使用する方法を前節にあげた。しかしわが国ではその方法をそのままの形で汚染ポテンシャル予測の手段として当てはめることには問題が多い。それは次のような理由による。

- a) 地形に起伏が多く気象の局地性が強い。
- b) 小さな列島であり、工業都市は臨海地域に集中しており、海岸で発生する海陸風の影響を無視できない。
- c) 移動性高気圧の通路にあたるため気象の変動が激しく周期が短い。

Table 1-8 Mathematical Model for Urban Scale Air Pollution

(1) by Miller, M.F. and Holzworth, G.C.

$$\frac{C}{Q_A} = \frac{1}{L/u} \left\{ \int_{50}^{t_{Dm}} \int_{50}^{t_{Dm}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sigma_z} dt dt + \int_{t_{Dm}}^{t_L} \int_{t_{Dm}}^{t_L} \frac{1}{D_m} dt dt \right\}$$

C : Average concentration over an urban area (ppm)
 Q_A : Area source strength (m³/m²/sec)
 L : City size (m)
 u : Mean wind speed in a mixing depth (m/sec)
 D_m : Mixing depth (m)
 t_{Dm} : Traveling time when 1.25σ_z=D_m (sec)
 t_L : Traveling time over a along-wind length L (sec)
 σ_z : Standard deviation of pollutants concentration distribution
 t : time (sec)

(2) by Holzworth, G.C.

$$\begin{aligned} \frac{L}{u} < 0.471 D_m^{1.13} & \text{ ----> } \frac{C}{Q_A} = 3.994 \left\{ \frac{L}{u} \right\}^{0.115} \\ \frac{L}{u} > 0.471 D_m^{1.13} & \text{ ----> } \frac{C}{Q_A} = 3.613 D_m^{0.13} + \frac{L}{2 D_m u} \\ & \quad - \frac{0.088 u D_m^{1.26}}{L} \end{aligned}$$

したがって 独自の汚染予測の体系を立てる必要がある。

本節では汚染濃度データと気象条件とから広域の都市スケールの大気中からの汚染物質の拡散浄化能力を評価するための基本モデルを提示する。

都市全域の平均大気汚染濃度は、その全域に適当な距離で分散した観測点で測定される汚染濃度と、同点によって代表される地域面積との積の和を全面積で除した値とすることができる。固定した地域の上空にある大気の汚染濃度を決定する因子は、その地域の汚染物質排出強度、その大気汚染物質が上方へ広がっていく能力と汚染大気の水平方向への移動速度とすることができる。(したがって大気

の浄化能力は対象地域を覆う汚染大気の容積とその大気槽に流入出する空気の単位時間当りの流量を指標に選ぶことによって表わすことができる。巨視的に汚染物質の物質収支をとると、広域汚染濃度と生成消滅の項を含む次式のような集中定数系表示を得る。

$$V \frac{d\bar{C}}{dt} = \Gamma' (C_{out} - \bar{C}) + Q - kV\bar{C} \quad 3-1$$

ここで V は都市域を覆う汚染した空気の体積 (m^3)、 \bar{C} はその空気の平均汚染濃度 (ppm)、 Γ' は単位時間当りの空気の流入出量 (m^3/hr)、 C_{out} は対象都市域外から流入する大気の汚染濃度 (ppm)、 Q は槽内に排出される汚染物質排出強度 (m^3/hr)、 k は降雨などによる汚染物質消滅速度定数 (hr^{-1}) である。今 $C_{out}=0$, $\Gamma=\Gamma'/V$, S を対象地域の面積とし S を底とする気柱の高さを Z とすると式(3-1)は次のように書き換えられる。

$$\frac{d\bar{C}}{dt} = -\Gamma\bar{C} + \frac{Q_A}{Z} - k\bar{C} \quad 3-2$$

ここで Γ は換気回数 (hr^{-1})、 Q_A は都市全域の平均の単位面積当りの排出強度 ($m^3/m^2/sec$)、 Z は汚染大気の層の厚さに対応する。

Γ のとりうる値の大きさは L を都市域の大きさとし、 U を高さ Z と地表との間の移送風速とすると

$$\Gamma = U/L + (\text{鉛直方向の拡散による実効浄化効果の項}) \quad 3-3$$

ここで水平方向の拡散と鉛直方向の高さ Z 面での拡散の効果による実質的な空気の移動量は風速 U による移動量よりも小さいであろう。

対象地域を覆う大気中にある汚染物質の浄化能力は、式(3-2)中にあるパラメーター Γ , Z および k で評価することができる。

Z が大きくなると、汚染物質の単位容積当りの排出強度が小さくなる。 Γ は平均風速と鉛直方向の混合拡散係数に比例する。 Z が大きな値をとっても $(\Gamma+k)$ が小さい値をとれば、汚染物質をなかなか浄化しないことになる。そこで $(\Gamma+k)$ と Z の積が大気汚染物質の浄化能力を定量的に表示するパラメーターであるとすることができる。したがって、積 $Z(\Gamma+k)$ を大気汚染浄化指数と名づけた。この値が大きいことは大気の浄化能力が大きく高濃度汚染が発生し難いことを表わしている。 k の値は汚染物質が硫酸酸化物のとき第2編第4章で求められている。降雨強度を $w(\text{mm/hr})$ とすると $k=0.47w$ である。

3 2 パラメーターについて

定常拡散公式をはじめ、定式化された煙の拡散数式モデルは、大気安定度、風速によって決まるいくつかの変動パラメーターを含んでいる。これらのパラメーターの値は、野外実験で求めた濃度分布のデータから求められ、そのときの各種気象条件と関係づけられる。一般にこれらデータの量は限られているので、これらの得られた関係はある特定の状態を示すに過ぎない場合が多い。

大気汚染濃度を推定ないしは予測したとき生ずる誤差は利用した拡散数式モデルそのものの欠陥の他に、式で使うパラメーターの値の決定に原因することが多い。

筆者が提示したパラメーターのうち Z は、汚染濃度分布の実測から直接推定することが不可能な量である。 Γ は式(3-3)から近似的に求められるが厳密な値を直接推定することはできない。2つのパラメーターがもつこのような性質から、2つのパラメーターの値は連続的に得られている広域汚染濃度の実測値を使って計算によってパラメーター推定するか、あるいは現象論的に推定し易いパラメーター、例えば Γ を決定論的に直接値を与え、 Z のみをパラメーター推定するかのいずれかである。

パラメーターの推定は次の評価関数によって行なう。

$$P.I. = \sum_{i=1}^m \{C_{obs}(t_i) - \bar{C}(t_i)\}^2 \longrightarrow \text{minimum} \quad 3-4$$

ここで $C_{obs}(t_i)$ は対象地域全域平均汚染濃度, $\bar{C}(t_i)$ は同じ時刻の計算によって求めた汚染濃度, t_i は時刻を示す。濃度実測値が 1 時間ごとに与えられるものとする。 t_{i+1} は t_i より 1 時間先の時刻を意味する。2 変数を推定するためには、少なくとも $m > 2$ が必要ではない。

第4節 数値実験の計算条件

4-1 汚染物質排出強度

対象とする大気汚染物質は固定排出源から出る硫黄酸化物とする。大阪府では、昭和 43 年 12 月平日の石炭および重油の排出量について、主要巨大排出源、71 事業所では 1 時間ごとの、その他の中小汚染源については日平均の調査を行なっている。昭和 39 年には中小汚染源排出強度の経時変化を調査しているので、この経時変化のパターンを昭和 43 年 12 月のデータに適用した。全域の硫黄酸化物の排出強度は、この 1 時間ごとの石炭、重油の使用量にそれぞれ平均硫黄含有率を乗じたものの和で与えられた。重油の平均硫黄含有率は 0.027、石炭のそれは 0.01 である。全排出強度は Table 1-10 に示される。排出強度にかかる濃度への換算は標準状態で行なう。

汚染物質排出強度のデータが昭和 43 年 12 月平日に関するものであるので、濃度計算とパラメーターの分析を行なった日時を同月と昭和 44 年 1-2 月上旬の平日に限定した。

4-2 平均汚染濃度

計算に使用した汚染濃度データは、昭和 43 年 12 月、昭和 44 年 1 月のもので、休日とその翌日および年末 27 日から年始 7 日のものを除く。汚染濃度は 14 か所の固

Table 1-9 Monitoring Stations
and those Reference Areas

Monitoring station	Reference area
Suita st.	43.5 (km ²)
Moriguchi st.	26.2
Sieiken st.	17.0
Konohana st.	29.0
Yodo st.	11.0
Center st.	29.8
Hirao st.	85.2
Setsuyo st.	53.5
Fuse st.	32.8
Yao st.	26.2
Sakai st.	36.4
Furitsu st.	25.2
Hamadera st.	28.5
Kuise st.	23.8

Table 1-10 Fuel Consumption in the Osaka District

Time	1	2	3	4	5	6
Coal(ton)	213.7	181.6	192.6	194.9	212.9	250.5
H.oil(kl)	400.0	400.0	400.2	406.0	404.6	412.7
Time	7	8	9	10	11	12
Coal(ton)	266.4	302.0	318.4	326.4	331.3	321.1
H.oil(kl)	471.5	543.8	655.6	659.5	628.3	609.5
Time	13	14	15	16	17	18
Coal(ton)	305.6	326.4	315.2	310.7	312.2	304.4
H.oil(kl)	581.8	571.0	570.8	534.6	515.9	497.0
Time	19	20	21	22	23	24
Coal(ton)	295.9	294.4	296.5	291.3	258.1	251.9
H.oil(kl)	435.5	410.2	407.8	448.6	423.3	409.5

Rates of sulfur contain, coal:0.01
h.oil:0.027

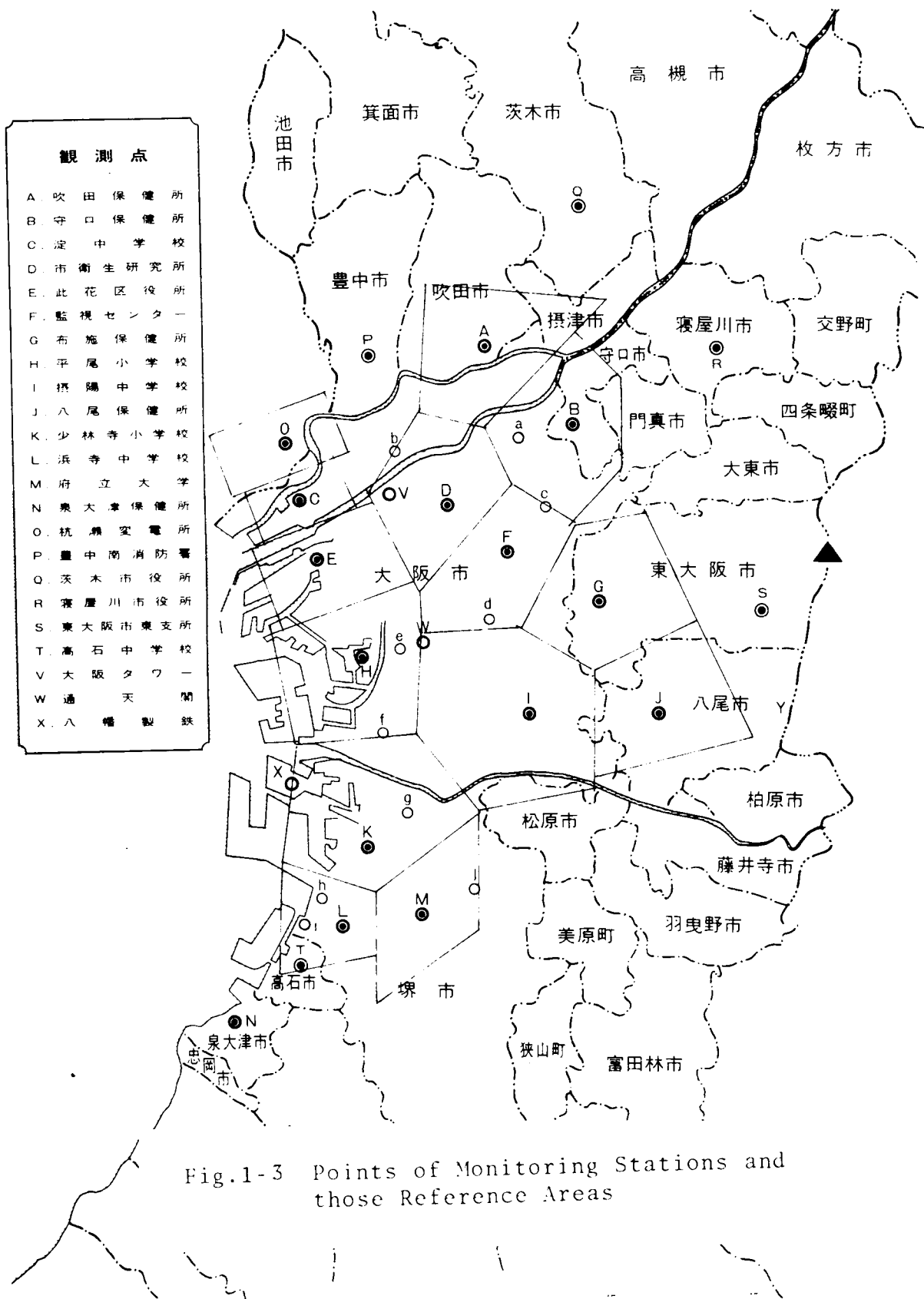


Fig.1-3 Points of Monitoring Stations and those Reference Areas

定の大気汚染観測所で1時間平均値の経時変化が得られている。欠測は各局で存在するが14地点で同時に発生することはなかった。平均濃度は14地点の代表面積を重み係数とした相加平均で与えられた。 i 地点の面積を S_i 、汚染濃度を C_i とすると平均濃度は次式で表わされる。

$$C_{\text{obs}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{14} S_i C_i}{\sum_{i=1}^{14} S_i} \quad 3-5$$

面積 S_i は観測地点間距離の2等分点を通る直線で囲まれた多角形の面積としており、Fig.1-3で区分を、Table 1-9で面積を示す。

4-3 気象観測値

分析に使用した気象データは、午前6時の日刊天気図に書かれた気圧配置、大阪管区气象台で得られた風向、風速、日射量、雲量、雨量、気圧変化の定時観測値、および大阪府下14の汚染観測所で測定された風向、風速の経時変化である。

第5節 要約

わが国の広域の大気汚染濃度の予報は、その地理的条件によって米国で行なわれている広域予報の方法を適用することは不適当である。各地方で独自の定性的な汚染予報が試みられているが、汚染濃度と汚染物質排出強度との間に蓄積現象等を表わしうる非定常な数式モデルを作成し、それによって汚染の予測と大気の浄化能力を評価しようという試みはまだない。

本章では式(3-2)のような数式モデルを提示し、式中にあるパラメーターの特性とその処理法を明らかにした。大阪地方では、気温、風、汚染濃度の鉛直上方向の分布まで常時測定されないが、汚染物質排出強度と地表近くの汚染濃度データが集められており、同数式モデルの適用が可能である。

提示した数式モデル，式 (3-2) とその式中にあるパラメーターが持つ特徴と仮定をまとめると次のようになる。

- 1) 非定常式である。
- 2) 汚染物質は Z なる高さの気柱内に均等に排出される。
- 3) 都市域を覆う汚染された大気の気塊を仮定しており，その体積は気象条件によって変動する。その体積はパラメーター Z の大きさに対応する。
- 4) 気柱内の空気と気柱外の空気はパラメーター Γ によって交換される。
- 5) パラメーター Z と Γ は原則として濃度変動曲線からパラメーター推定によって求めるが， Γ は風速，都市の大きさ L と密接に関連している。
- 6) パラメーター Z と $(\Gamma + K)$ の積を浄化指数と名づけたが，その値の大きさによって汚染ポテンシャルを評価する。

第4章 気圧配置と浄化能力

第1節 概説

大気汚染濃度を適確に予測し、汚染によって生ずる災害を未然に防止するという目標達成の第一歩は、高濃度汚染になりそうな天気をその特徴に応じて分類し、正確に天気の予測を行なうことである。その場合、もっともよく行なわれる作業は、地上天気図、上層天気図などから得られる気圧配置のパターンと汚染の程度との関係とその特性を十分明らかにすることである。

基本的に分類されている気圧型の性質を示すと次のようになる。

- a) 低気圧： 北半球では反時計廻りに内側に向かって風が吹き込み、中心付近で、その集った空気塊が上昇する。冬季、低気圧の中心が西日本を通過することはほとんどなく、前線を伴って南海上か日本海を東進する。冬季の移動速度は毎時およそ40kmで夏期の移動速度は毎時およそ30kmである。一般に天気が悪く、風が強い。大気汚染の高濃度は発生しにくい。
- b) 温暖前線： 前線の北側では前線のほゞ300kmから近くは、地雨性の雨となり、雨量も多い。南東の風が吹く。前線の南側では南の風が強まり、天気は比較的よい。
- c) 寒冷前線： 雨の降る区域は温暖前線に比べて地域的に狭いが、雷雨、ひょう、突風を伴なうことがあり、大気の高濃度汚染が解消する。通過前は南よりの弱い風が吹き、通過後は北よりの風が強くなる。
- d) 高気圧： 中心から時計廻りに風が四方に吹き出している。わが国の冬季の天気主に影響を与える高気圧は寒冷高気圧と移動性高気圧である。寒冷高気圧の典型的な例は、シベリヤ高気圧である。それはシベリヤ大陸中央付近で発達し、日本列島にまで張り出すことがよくあり、日本に寒気と強力な季節風をもたらす。

欧米に比して都市の高濃度汚染の持続時間が短いのは、移動性高気圧の通路に

あたるためであるが、移動性高気圧圏内では一般に風が弱く、天気も良いので、夜間に地表面が放射冷却され、朝に逆転層を形成し、早朝スモッグを発生させ易い。同圏内ではまた風が弱いので、高気圧が長時間にわたって停滞すれば汚染物質が蓄積されて高濃度汚染を生ずる。高気圧の中心より北東側は快晴となり、中心より南東は晴から薄曇り、中心より西側では上層雲ができて薄曇りから本曇りとなる。中心から南西では前線があとに続いているとき雨になり易い。大きい移動性高気圧の後面に西日本が位置するとき、とくに瀬戸内海を中心に局地的地形性高気圧が時々発生し、瀬戸内海沿岸は濃霧とスモッグの発生をみる。

気圧配置は広域的な風向、風速、気温分布、雲量、日射量、過去の気象状態によって起きる大気の状態、の巨視的な推定を可能にし、また局所的な限られた気象要素によるよりも総合的な大気の状態とその変動の評価を可能にする。したがって広域的な大気汚染濃度は、気圧配置の特徴を把握すれば、その変動の時間スケールに対応して、半日あるいは1日間の平均濃度の推定に適しているであろう。

本章では以上の観点から気圧配置を気象要素に選び、気圧配置をいくつかの類似したグループに類別し、その分類ごとに大気汚染物質の浄化能力の定量的な評価を行なった。

第2節 気圧配置の分類

予測される気象条件が気圧配置のみであるものとして大気汚染と気象の関係を考える。

汚染物質の浄化力とその時の気象条件との関連を研究するとき直面する問題は、気象条件が常に変化し、しかもそのパターンに厳密な意味での繰り返しがないことである。気圧配置による気象表示は、気象現象の特性が定量性を欠くという性質を持っているため、従来の研究ではいずれも汚染濃度との関係づけには定量性を欠いていた。そこで類似した気圧配置のパターンをいくつかのグループに離散的に分け、各グループに対して平均的な浄化能力の評価を加えた。この気圧配置の

分類は、従来研究されてきた気圧配置のパターンを基礎としているが、とくに高濃度汚染になる典型的なパターンを重視して行ない、Table 1-11に示している。

大阪地方はほぼ北緯 34.7° 、東経 135.5° に位置している。そこで着目する気圧配置の状態の考察の範囲を、高気圧の場合は北緯 $30-40^{\circ}$ 、東経 $120-150^{\circ}$ としている。データは冬季に関するものである。気圧配置の状態によって分類を明白に行ない易い場合と、きわめて分類し難い場合がある。分類し難い場合としては、例えば冬型気圧配置のゆるみと一般にいわれている状態は、冬型気圧配置の強いときと何によって区別すべきか、また何を高気圧、または低気圧の勢力範囲の限界とすべきか、気圧の鞍部と判定する限界は、等限りがないが、このように気象を分類することは気象現象の連続性と相入れないところであり、気象専門家の判定に委ねる他に方法はない。

第3節 気象の分類作業と分析

前節による気圧配置の分類法に従って大阪地方の天気の種類を行なった。データは昭和43年12月と、昭和44年1-2月の大阪管区気象台の気象原簿による気象要素、毎日午前6時に発表される日刊天気図、および午後3時の未発表の日刊天気図と同規模の図を使用した。1時間単位で気圧配置を推定し、各日時の気象を分類したのでその区分には数時間の誤差がある場合もあろう。

Table 1-12-1, 2) は毎日の気圧配置を Table 1-11 によって分類した結果を示す。寒冷前線が大阪上空を通過する時刻は気象原簿により風速が急激に強くなり始める時刻から推定した。分類で目立った気象の特徴を次にあげると、(i) 強い冬型気圧配置のときに12方位の風向が全体の72%を占め、他の風向は13と14方位とであった。(ii) 冬型気圧配置のゆるみのとき、主風向の特徴は顕著に認められなかった。(iii) 低気圧のあとに高気圧が接近するときは13方位の風向が60%を占め、他の風向は12ないしは14方位となっている。(iv) 高気圧の

Table 1-11 A Classification of an Atmospheric Pressure Distribution

<p>1. An anticyclon approaching the Osaka district</p> <p>(i) The center is within the limits of long. 120°- 130°E and lat. 30°- 40°N</p> <p>(ii) The Osaka district is within the limits of -2- -4 mb from the center pressure</p>
<p>2. An anticyclon over the Osaka district</p> <p>(i) The center is within the limits of long. 130°- 140°E and lat. 30°- 40°N</p> <p>(ii) The Osaka district is within -2 mb from the center pressure</p>
<p>3. The Osaka district located behind an anticyclon</p> <p>(i) The center is within the limits of long. 140°- 150°E and lat. 30°- 40°N</p> <p>(ii) The Osaka district is within the limits of -2- -4 mb from the center pressure</p>
<p>4. A cold front over the Japan Sea</p> <p>A cold front reaches the limits of long. 130°- 140°E and lat. 30°- 40°N, and does not cross over the Japan islands</p>
<p>5. A cold front approaching the Osaka district</p> <p>A cold front is within the limits of long. 130°- 140°E and lat. 30°- 40°N, and crosses over the Japan islands</p>
<p>6. The Osaka district located behind a cold front and within the limits of long. 130°- 140°E and lat. 30°- 40°N</p>
<p>7. A surface weather map of a winter type</p> <p>(i) Strong</p> <p>(ii) Weak</p>
<p>8. A cyclon within the limits of lat. 30°N and the Osaka district</p> <p>(i) A cyclon is within the westside than long. 130°E and approaches the Osaka district</p> <p>(ii) A cyclon is within the limits of long. 130°- 138°E</p>

9. A col of an atmospheric pressure over the Osaka district
10. An anticyclon belt over the Osaka district
11. A cyclon approaching the Osaka district after passing of an anticyclon
12. An anticyclon approaching the Osaka district after passing of a cyclon
13. Others

あと、低気圧が接近するときは2方位の風向が28例中15例、他の風向は16方位が7例、1方位、15方位が少数例となっている。(v)低気圧が南海上を接近通過するときは、1-3方位の風向がおよそ80%を占め、他の風向は日中の晴れの日には海風、あるいは静穏となっている。(vi)高気圧の中心のときは16,1,2方位ないしは9,10,11方位が全体の例中72%を占めている。海陸風の発生する日は12月6,7,20,24,25の各日と1月10日で、いずれの日も高気圧圏内に属している。

その他の分類No.13に属する天気は、等圧線が北東から南西に走り、東南に高気圧があるとき、西に低気圧、東に寒冷前線があるとき、ないしは西に前線があり東に低気圧がある、いわゆる気圧の鞍部とは見なせないが、低気圧が続いて通過する場合、等多くの場合が含まれる。

第4節 数式モデルの適用とパラメーターの推定

広域拡散の数式モデルは式(3-2)で示された。

$$\frac{d\bar{C}}{dt} = -r\bar{C} + \frac{Q_A}{Z} - k\bar{C} \quad 3-2$$

Table 1-12-1) Classification of Atm. Pressure Distribution, (Dec. '68)

	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Sun.
Date	2	3	4	5	6	7	8
Time	7-12	17-4	11-15	22	17	6-10	24
Category	3	13 4 5 6	11	8-ii	12 1	2	
Date	9	10	11	12	13	14	15
Time	8	10-21	15	7	15	12-21	8-24
Category	8-i	8-ii	4 7-ii	4 5	6 7-ii	8-i 8-ii	
Date	16	17	18	19	20	21	22
Time		6	6-16	12-18	23	20-4	6-24
Category	7-i	7-ii	8-i 8-ii	12 1	2 4 5 6		
Date	23	24	25	26	27	28	
Time	13		20	21	6-11	22	24
Category	7-ii	1	2	4 5 8-ii	13		

Table 1-12-2) Classification of Atm. Pressure Distribution, (Jan. '69)

	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Sun.
Date	6	7	8	9	10	11	12
Time				2	15-20	13	23
Category		7-i		7-ii	1 2 3	8-i	8-ii
Date	13	14	15	16	17	18	19
Time				6	17	18-23	17
Category		7-ii		1	2 3 9	1 2 3	
Date	20	21	22	23	24	25	26
Time			6-15	21	14	8	22
Category		8-ii	13 9	1	7-ii	13	8-i
Date	27	28	29	30	31		
Time		5-12	15-22				
Category	4	5	6	8-i	8-ii		

パラメーター Z と Γ は、本来大気の状態に応じて刻々変動する量であるが、ここでは気象条件として気圧配置の時間変動のみが与えられているので、次にあげる方法によって推定する。

1. パラメーター推定法-1

Z : 24時間一定, Γ : 1時間ごとに変動

Z を 1 日間変動しないものと仮定し、1 日に 1 個の値を推定する。 Γ は 1 時間ごとに連続 3 時間にわたるデータを利用して 1 日の変動量を推定する。

$$\begin{aligned} \varepsilon_j(\Gamma_j) &= \sum_{i=1}^3 \{ \bar{C}(t_j + (i-1)\Delta t, \Gamma_j) - C_{\text{obs}}(t_j + (i-1)\Delta t) \}^2 \\ \varepsilon(Z) &= \sum_{j=1}^{22} \varepsilon_j(\Gamma_j) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \longrightarrow \text{minimum} \\ \longrightarrow \text{minimum} \end{array} \right\} \quad 4-1$$

式 (3-4) で表わされた評価関数は、上式 (4-1) のような離散表示に書き変えて与えられる。ここで i は時間, j は時刻を, ε_j は 3 時間を計算の単位として 1 時間ごとに得られる誤差の 2 乗を示す。 $\varepsilon(Z)$ は 1 日間の誤差の総和を示す。 $\bar{C}(t_j + (i-1)\Delta t, \Gamma_j)$ は時刻 $t_j + (i-1)\Delta t$ 時の式 (3-2) によって推定される濃度計算値である。 $C_{\text{obs}}(t_j + (i-1)\Delta t)$ は同時刻の実測された平均汚染濃度である。

2. パラメーター推定法-2

Γ : 24時間一定, Z : 1 時間ごとに変動

Γ を 1 日間変動しないものと仮定し、1 日に 1 個の値を推定する。 Z は 1 時間ごとに連続 3 時間にわたるデータを利用して 1 日の変動量を推定する。評価関数は式 (4-1) の Z と Γ を入れ替えたものになる。

このような 2 つの推定方法をとった理由は、(a) 濃度データ, 排出強度データはともに誤差をもつので、これら 2, 3 時間のデータから同時に 2 つのパラメ

ーターを推定しても、その推定値が不安定に変動する、(b) 日平均濃度の予測を目標にしているので、パラメーターを長時間平均値として求めればよい。しかし、濃度の時間的変動の推定も行ないたい、(c) 2つのパラメーターの特徴が十分明らかでないので2つの推定法を同格に扱う。ことによる。

パラメーター推定のための数理手段には最大傾斜法はじめいくつかの方法がある。これらの手段は評価関数を持つ特有の形状や、最適値探査のためにパラメーターに与える初期値のとり方によって速やかに収束することもあるが、非常に長時間を要する場合もある。多数回にわたって短時間に評価関数からパラメーターを推定する場合、各関数が類似した幾何学的形状を持たず、またパラメーターの値が毎回大きく異なる時、最大傾斜法のような方法は適さない。式(4-1)はまさしくそのような特徴を持っている。そこで、ここではあらかじめパラメーターのとり得る値の範囲を適当な格子点に分け、その中で評価関数をもっとも満足するような値の組を近似解として求めた。計算方法-1によるZのとりうる範囲は、その最小値を100mとし、最大値を1500mとした。その区間で100-400mはその格子区分を50mとし、400-700mのそれを100m、700-1500mのそれを200mとした。Γの変域は下限を 0.2hr^{-1} とし1.04のi乗、(i=1,50)を乗じた値を格子点とした。

計算方法-2によるパラメーターのとり得る値も方法-1と同様であるが、とくにZは40mを下限として1.1のi乗、(i=1,30)の積を格子点とした。

パラメーターZとΓのとりうる変域は、それらの持つ物理的な意味を考えると

$$100 < Z < 1500 \text{ m}$$

$$0 < \Gamma < \frac{U}{L} + \frac{D_z}{Z^2} \Big|_{\max} \approx \frac{20\text{m/sec}}{23640\text{m}} + \frac{10\text{m/sec}}{100^2 \text{ m}^2} \approx 7 \text{ hr}^{-1}$$

硫酸酸化物は20-30m以上の高度から発生する場合が多く、少なくともパラメ

ーター Z は 100m 以上の値をとるであろう。また巨大な煙突による多量の汚染物質の発生位置は事実上その煙の上昇効果によって数百 m に達する。各地で行なわれている汚染濃度鉛直分布の実測結果をも考え合わせると 1500m が Z のとる値の上限であろう。

Γ の変域は式 (3-3) からその下限は当然 0 よりも大きく、上限は、例えば $U = 2.0 \text{ m/s}$, $L = 23.64 \text{ km}$, $D = 10 \text{ m}^2/\text{s}$, $Z = 100 \text{ m}$ としても高々 7 hr^{-1} である。

第5節 パラメーターの推定結果および考察

計算に使用したデータは毎時間の広域汚染濃度実測値と排出強度である。2種の推定法の評価関数を満足するパラメーター Z と Γ の推定値を付録の Table 1-A-2, 3 にあげる。推定法-1 と推定法-2 から得られた同じ時刻の ϵ_j の値を比較すると、推定法-1 がより小さな値をとる場合が多く、求めた 308 回の内 203 回がそれにあたる。したがって Z を 1 日間一定とする推定法-1 の方が Γ を 1 日間一定値にするよりもよい結果を得たものと考え、推定法-1 によって求めた値に重点をおいて考察を加えた。

気圧配置によるパラメーター Z の特徴を得るため、各日を気象カテゴリーに応じて分類しその日の Z の推定値を書くと Table 1-13 となった。計算はおよそ 2 か月間にわたって行なったが、計算によって得たデータの個数が少なく、その結果各気象区分に属する Z の値の個数が少ないため、区分ごとに Z の平均値を求めることは困難であった。しかし天気と Z の値の傾向を知ることは可能であるので気象区分ごとに代表的な Z の値を定めた。

Γ の値は Z が定められると 1 時間ごとに推定される。分類された気象条件ごとに Γ の推定値の相加平均を求めると Table 1-14 の値を得た。したがって各気象カテゴリーに対して浄化指数が得られる。

以上の結果から Z の値は、高気圧の中心、寒冷前線が近づくときには大きく、天気が悪く風が強いときは小さい傾向が認められる。浄化指数のもっとも大きい

Table 1-13 Meteorological Categories and Estimated Values Z of Daily Average

Categories	Pattern duration of a day(hrs)			Reference Z (m)
	$\tau \geq 15$	$15 > \tau \geq 10$	$10 > \tau$	
1	Dec.24 (600)			600
2	Dec.7 (700) Dec.20 (1300) Dec.25 (1100) Jan.18 (700) Feb.12 (1100)	Dec.6 (900) Jan.10 (900)		1100
3			(Dec.2 (1100))	1100
4		Dec.10 (900)		1100
5			Dec.3 (300) Dec.12 (100)	500
6	Dec.21 (500) Jan.28 (1300)	Dec.13 (500)		500
7-i	Jan.7 (100) Jan.8 (1100)			700
7-ii	Dec.11 (700) Dec.17 (700)		Jan.9 (900)	700
8-i	Jan.25 (250)	Dec.18 (400) Jan.11 (100)		300
8-ii	Dec.5 (100) Jan.21 (300) Jan.29 (250) Jan.30 (400) Jan.31 (250)	Dec.14 (100) Dec.19 (300) Dec.26 (700) Jan.11 (100)		300
9			Jan.17 (500) Jan.22 (900)	
11	Dec.4 (700)			

時は分類-6 のときで、次いで分類-7-i である。両気象状況はともに風が強く逆転層が発生しにくく大気が不安定である。浄化指数がもっとも小さい気象条件は分類-3、ついで分類-5 であり、いずれも曇りないしは薄曇りで、風が弱く大気が安定となる日にあたる。分類-6 の浄化指数値は 650 (m/hr) で分類-3 のそれは 234 (m/hr) であるので浄化能力に 3 倍の開きがある。

Fig.1-4 は各時刻の気象条件が気象分類-1,2,7,8 に属するときの浄化指数の日変化を示したものである。晴れている場合には朝 6 時頃から 9 時頃まで 浄化指数は非常に小さな値をとる。これは夜間にできた放射性の逆転層の存在で空気が動きにくくなるためであろう。

硫酸酸化物はその空気中への排出位置が地表から数十 m、とくに巨大汚染源は数百 m であるため、煙の ヌミゲーション現象が地表面近くの汚染濃度を左右し、それが浄化指数に強く影響するものと考えられる。午前 10 時頃から以後の時刻については 13 時頃を頂点として大きな値をとる。これはかなり上空に到るまで大気が不安定となることによるものと推定される。一方天気が悪い気象区分にあたる例えば分類-8 のときは浄化指数が 1 日中ほとんど変化していない。これは日射量、夜間の放射量が雲の存在によって少なくなり、温度成層的安定度が時刻によって変動しないことによるものと推定される。

分類の内で分類-9,10,11,12 に属する期間は短かったため平均的浄化指数を

Table 1-14 Estimated Values of Z and Γ for each Category of Pressure Distribution

Categories	Z (m)	Γ (l/hr)	Z · Γ (m/hr)
1	600	0.65	387
2	1100	0.31	346
3	1100	0.21	234
4	1100	0.29	326
5	500	0.58	290
6	500	1.3	650
7 -i)	700	0.70	490
-ii)	700	0.61	427
8	300	1.7	510

求めることが不適当なため求めている。

Fig.1-5,6は12月20日と25日のデータによって推定された Γ の値を示す。両日の気象条件をTable 1-15に示す。これによると午前8時頃小さな値をとっていた Γ が日射によって大気が不安定となるとともに増加するが、正午ごろから15-16時頃にかけて小さな値をとっている。これはTable 1-15からわかるように、正午頃まで吹いていた陸風がその後海風となり、海上にでていた汚染大気がふたたび大阪上空へ運ばれてくることによる。すなわち式(3-1)で表わされる対象地域外から運ばれてくる大気の汚染濃度 C_{out} が0ではなくなる。しかるにその値が明らかでないため $C_{out}=0$ とみなしたため Γ の推定値に影響を与えたことによるものと考えられる。このような計算例から、海風と陸風の交代が数時間にわたって臨海都市の大気の高濃度汚染の発生に大きな作用をしていることが明瞭となる。

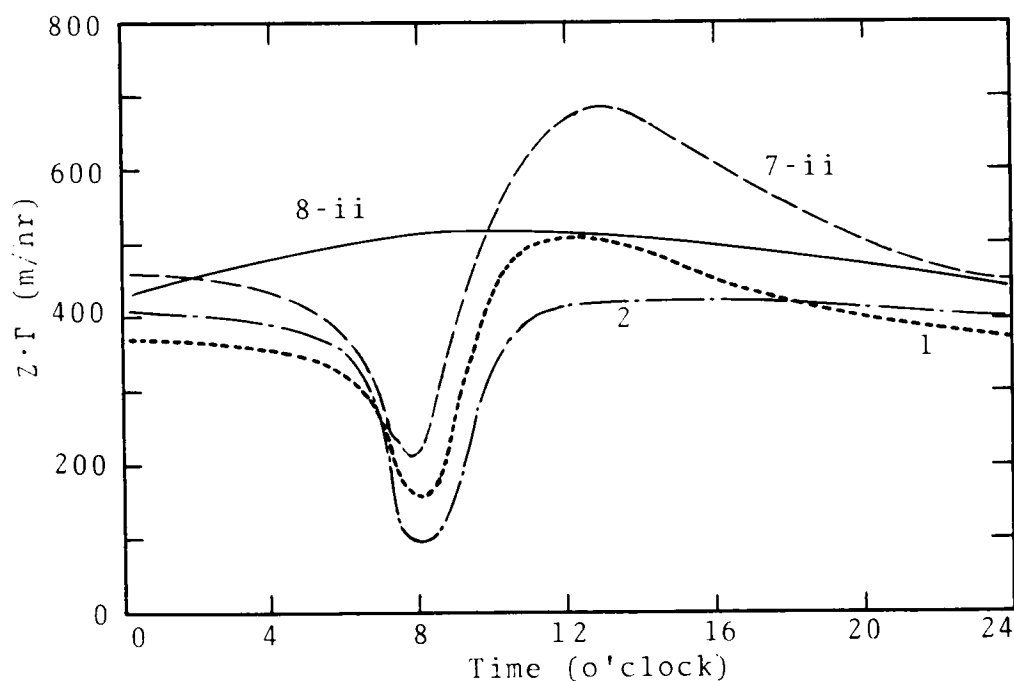


Fig.1-4 Diurnal Variation of a Clarification Index

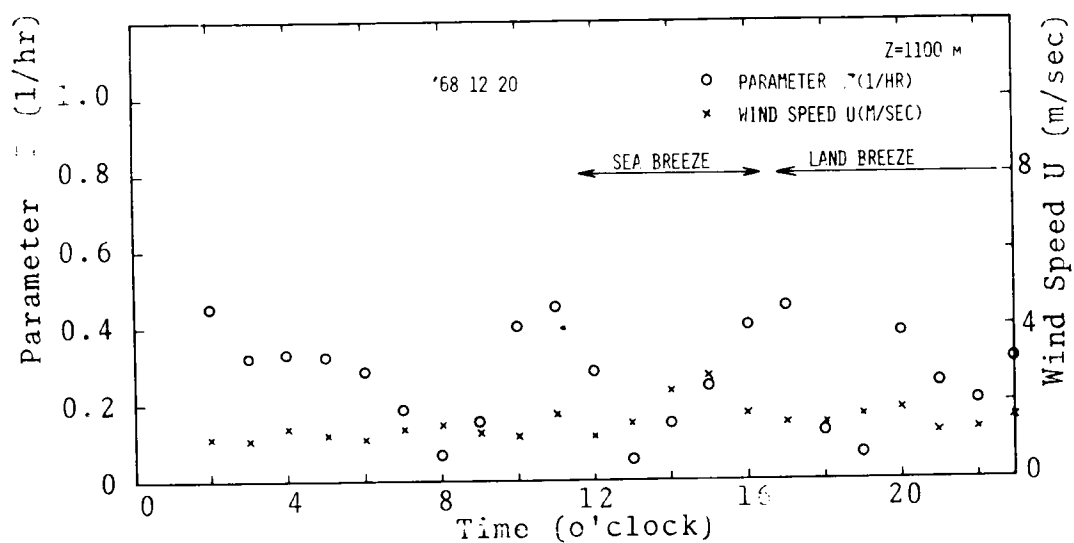


Fig.1-5 Diurnal Variation of Parameter Γ and Wind Speed

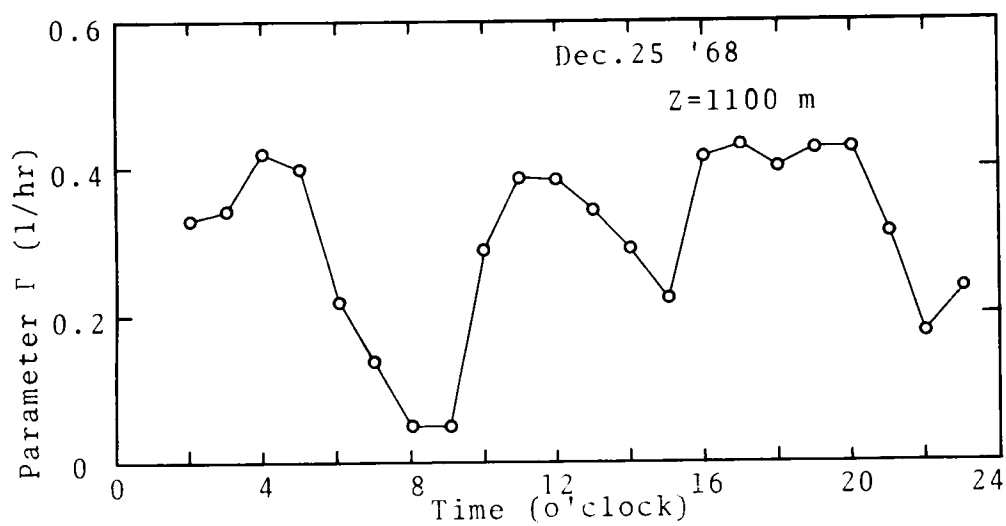


Fig.1-6 Diurnal Variation of Parameter Γ

Table 1-15 Meteorological Conditions of Dec.20,25 '68

Date	Dec.20				Dec.25			
Time	W.dir.	W.sp.	Inso.	Weather	W.dir.	W.sp.	Inso.	Weather
1	5	1.3		○	1	1.8		○
2	8	2.5		○	16	1.7		○
3	9	2.2		⊙	1	3.0		○
4	5	1.8		⊙	2	2.0		⊕
5	11	2.2		⊙	2	2.0		⊕
6	10	0.8		⊙	3	2.7		⊙
7	5	0.8	0	⊙	2	1.7		⊙
8	3	1.3	2	⊕	1	2.0	1	○
9	3	2.0	6	○	1	3.0	10	⊕
10	1	1.3	18	⊗	2	0.7	18	⊗
11	0	0.2	22	⊗	1	2.3	20	⊗
12	11	0.3	24	⊗	1	1.5	18	⊕
13	10	1.5	20	○	7	1.2	13	⊗
14	12	2.2	17	○	10	4.8	14	⊕
15	11	3.8	18	⊕	11	5.0	8	⊙
16	11	4.5	6	⊕	10	4.3	5	⊗
17	3	0.3	2	⊕	10	3.2		⊙
18	3	1.7		⊕	8	3.5		⊙
19	5	1.8		⊙	9	1.0		⊕
20	5	2.0		⊕	7	2.3		○
21	7	4.2		⊕	9	2.0		○
22	9	0.5		⊕	7	2.5		○
23	2	2.0		⊕	3	1.8		○
24	6	5.7		⊕	2	3.5		○

気圧配置による気象の分類はそのときの天気の特徴、すなわち風速、風向、天候を巨視的に与えている。分類の細かさにもよるがたとえ同じパターンに属していても気圧傾度が異なると大気汚染にもっとも重要な作用をする風速が異なってくる。比較的データの数が多いいパターンである高気圧の前面、高気圧の中心、寒冷前線の接近、寒冷前線の通過後、について風速と Γ の関係をプロットすると、Fig.1-7,10となる。それらによると風速が増すと Γ の値も大きくなる傾向が認められる。天気が良いパターンに属する分類ではFig.1-4で示されたように浄化指数は大きく日変動する。高気圧の中心として分類される気象パターンは晴

れる場合の典型的気象パターンであり、このときに Fig. 1-8 のごとく夜間 22 時から翌朝 4 時まで、朝 7:8 時、10-14 時まで、夕方 17-20 時までの 4 つの時間帯の Γ を別々の図に示した。この Fig. 1-8 から Γ は地上風速の大きさにあまり影響を受けないことがわかった。パラメーター Γ が持つ性質から、大気が地表から上空数百 m に到るまでの層で不安定になれば Γ は大きくなるであろう。したがって、昼間の Γ の値は夜間のそれよりも大きくなって当然といえる。(なるに Fig. 1-7 で推定できるように、夜間と昼間の Γ を比較すると、夜間の Γ が大きくなっている。この一見矛盾する結果が起こる原因は、次のように説明づけることができるであろう。300m あたり以高の大気は夜間、昼間とも地表面気温の変化の影響をあまり受けないため安定度に大きな変化を生じない。しかし地表近くの大気は夜間に冷却されるので安定となり、一方昼間には日射で暖められて不安定となる。煙突から出た硫酸酸化物を含む排ガスは、それが持つ浮力と運動量によって煙突からさらに高い所へ移動するが、地表近くの日夜の大気安定度の差が、この一度上空へ出た汚染物質の地表の汚染に寄与する程度を変える。夜間は地表近くの大気が安定であるので地表面近くを汚染しにくく、昼間には不安定になるので汚染し易くする。それが Γ ないしは浄化指数を大きくする理由であるが、結局立体的に分布する硫酸酸化物の排出源の位置の特性に起因するといえよう。

天気が悪い気象条件の場合には Fig. 1-4 に示されているように浄化指数は時刻によってあまり変動しない。そこで分類-5 と分類-6 は時刻に無関係に Γ と風速の関係を同一の図にプロットした。Figs. 1-9, 10 はそれぞれの気象パターンの Γ と風速の関係を示す。この図から Γ の値は風速にほぼ比例していることがわかる。 Z の推定値と その日の平均風速をプロットすると Fig. 1-11 となった。風が強いときに Z は小さくなる傾向が認められる。これは風が強いとき汚染大気が地表面近くを這う現象と対応させることができよう。

以上の結果から Z は風速の逆数と正相関が認められ、大気安定度の影響を受ける。一方 Γ は風速との正相関が認められる。現象的には Z を 1 日間一定値にする

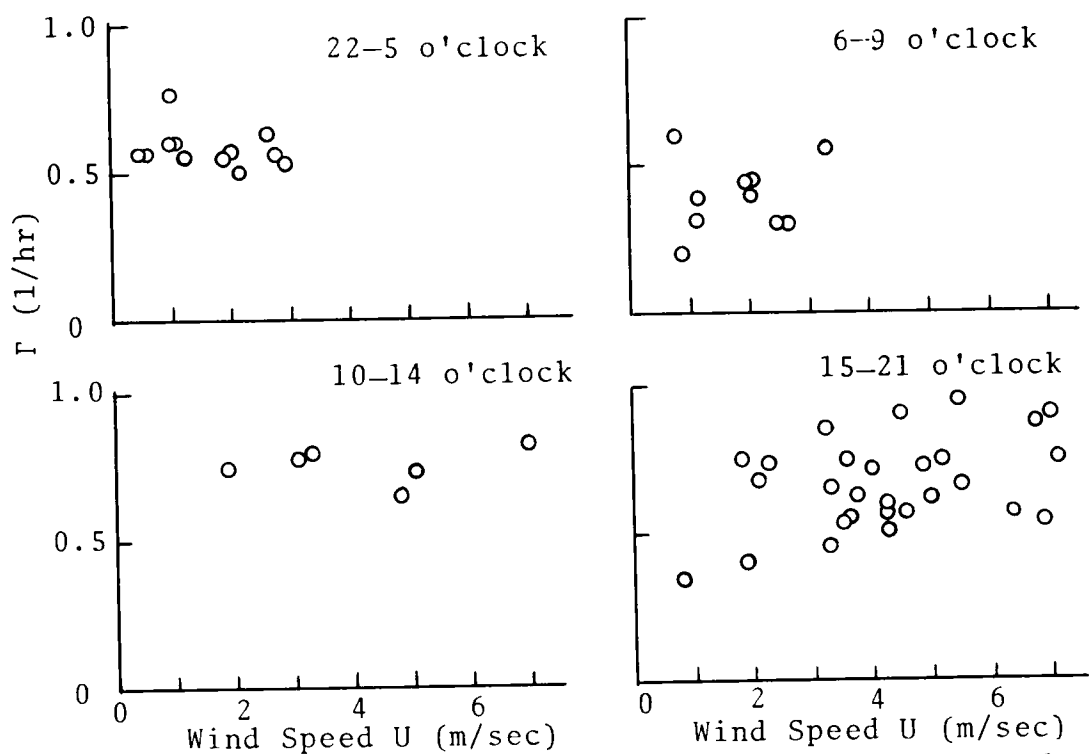


Fig.1-7 Relationship between Γ and Wind Speed
(Meteorological Condition---Category-1)

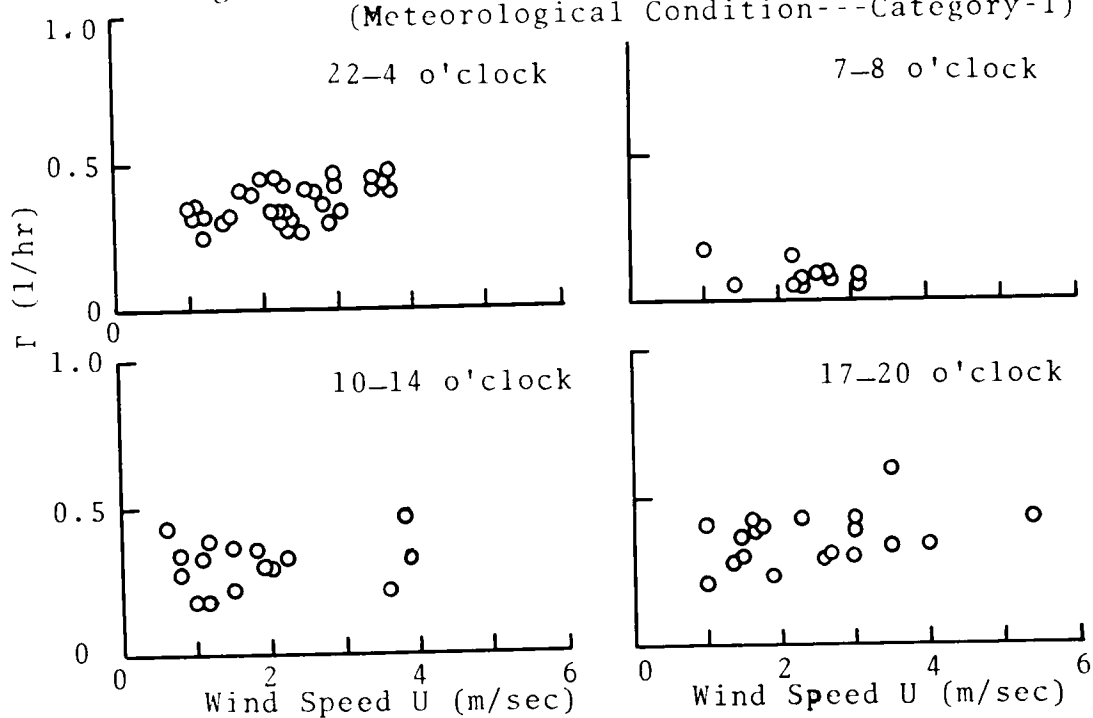


Fig.1-8 Relationship between Γ and Wind Speed
(Meteorological Condition---Category-2)

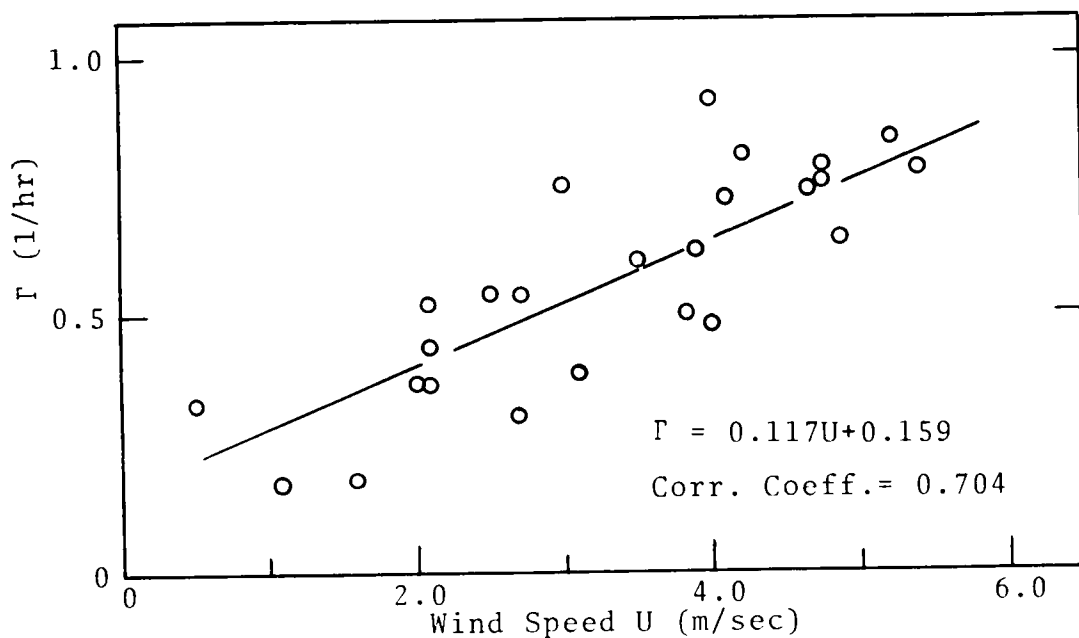


Fig.1-9 Relationship between Γ and Wind Speed
(Meteorological Condition---Category-5)

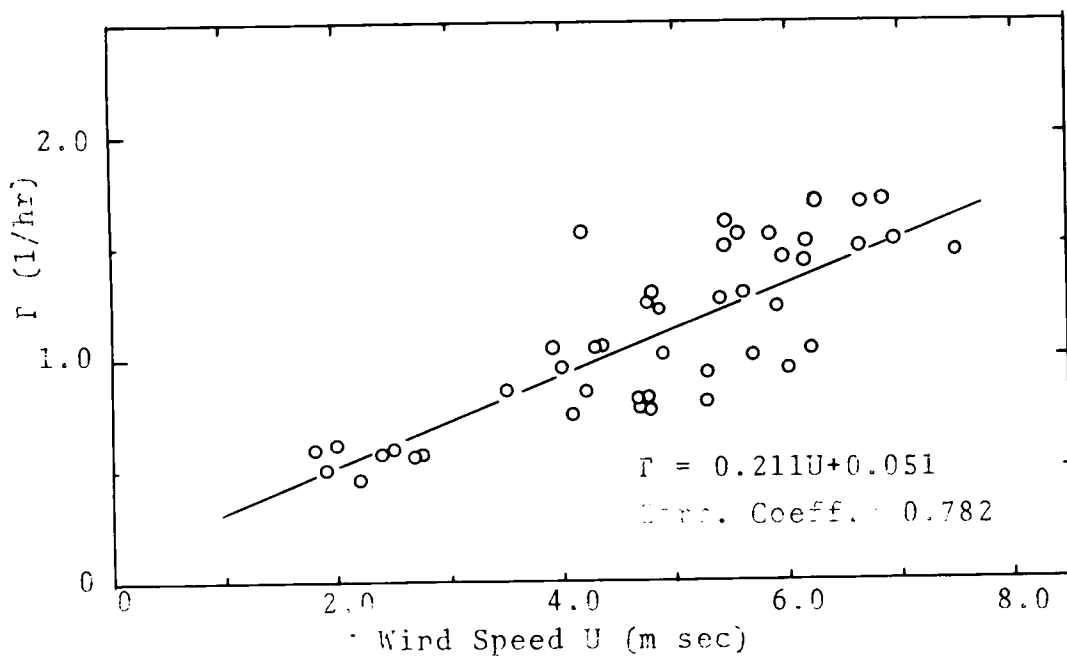


Fig.1-10 Relationship between Γ and Wind Speed
(Meteorological Condition---Category-10)

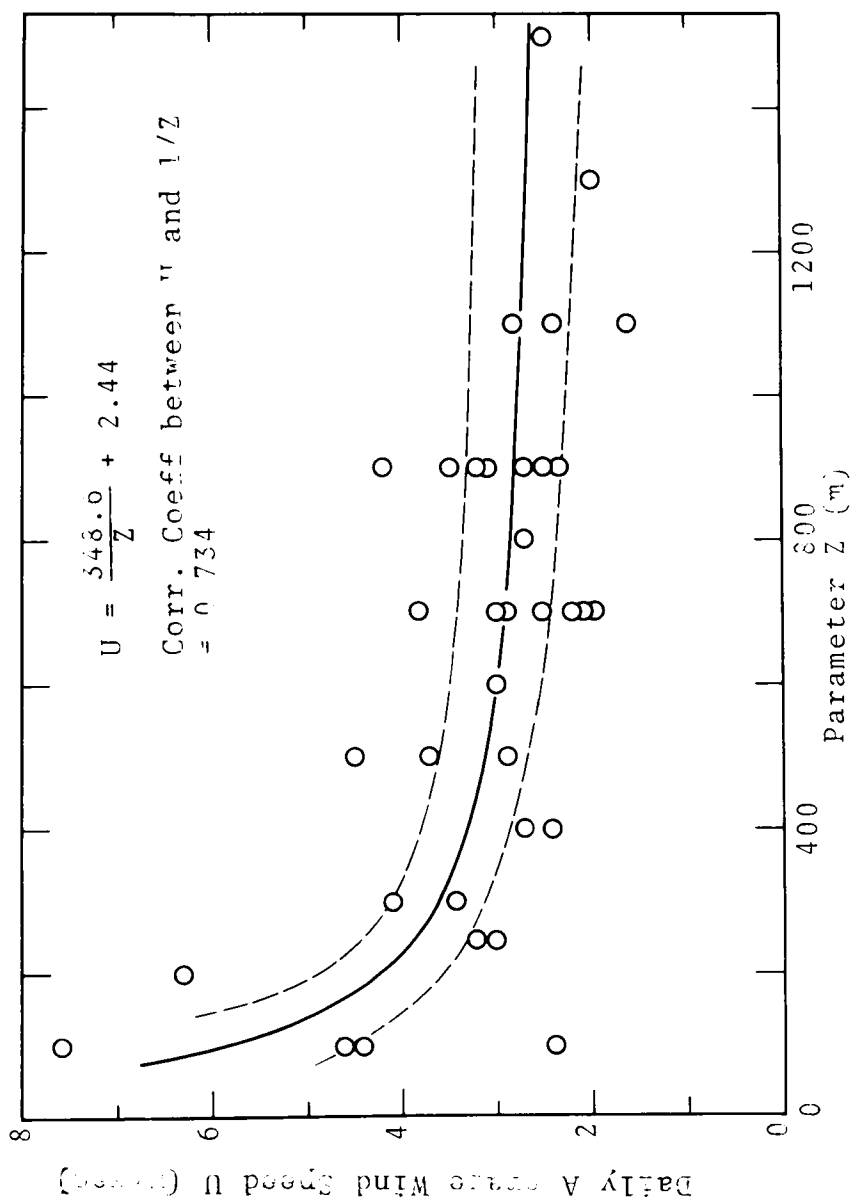


Fig.1.1-11 Parameter Z and Daily Average Wind Speed

ときと、 Γ を1日間一定にするときの2つの場合は大いに違っている。しかし長時間にわたってそれらパラメーターがとる値の大きさを平均するときにはほぼ等しい値となる。Zの推定法-2によって求めた1日平均値は推定法-1による結果と合わせてTable 1-16に載せておく。これらの2つの方法による結果は12月13日のものを除くと比較的によく一致している。この例外は当日の ϵ の変動がパラメーターZの変動に関して非常に少なく、極値の周辺の山の傾斜が緩やかであったため、Zと Γ の格子のとり方が影響したものと推定される。

第6節 広域汚染濃度の推定、および考察

都市全域の大気が高濃度汚染されるか否かを前日に予報することは、最近多く

Table 1-16 Comparison of Estimated Z by Two Methods

Date	Z (m)		Date	Z (m)	
	Method-1	Method-2		Method-1	Method-2
Dec. 4 '68	700	700	25	1100	1110
5	100		26	700	660
6	900	1010	Jan. 7 '69	100	
7	700	710	8	1100	
10	900	850	9	900	
11	700	670	10	900	
12	100	130	11	100	
13	500	940	17	500	
14	100	210	18	700	
17	700	810	21	300	
18	400	530	22	900	
19	300	240	25	250	
20	1300	900	29	250	
21	500	560	30	400	
24	600	530	31	250	

の都市で試みられるようになった。しかしこれらの方法に共通していることは、その予測が定性的ないしは半定性的な方法に停まっていることである。

本論で目標とする汚染濃度の予測はあくまで定量的に行なうことである。濃度計算の基本となる数式モデルは式(3-2)であるが、この式を使って濃度を算出するとき必要なパラメーター α と Γ の値は決定論的に与えられた。この2つのパラメーターは評価関数式(4-1)によって求められたものを使用した。

パラメーター α の値は Table 1-13 の値を使用し、 Γ は気象のパターンが分類-1, 2, 7-ii, 11, のときは時間的に変動する量として Table 1-17 の値を、その他の分類に属する気象パターンに対しては Table 1-14 にあげた値を利用した。汚染濃度推定計算を行なった日時はパラメーターと気象の関係を分析した日時と同じ昭和43年12月の平日である。推定した濃度の計算結果は付録 Table 1-A-4 に示している。時間ごとの濃度推定値を横軸に、観測濃度を縦軸にとり、同

Table 1-17 Variation of Γ

Time (o'clock)	Categories			
	1	2	7-ii	12
1 - 5	0.58	0.36	0.65	0.69
6	0.54	0.31	0.52	0.40
7, 8	0.30	0.076	0.32	0.22
9	0.38	0.12	0.63	0.36
10	0.80	0.31	0.97	0.73
11	0.80	0.34	0.97	0.73
12	0.80	0.34	0.97	0.73
13	0.80	0.39	0.97	0.73
14	0.80	0.39	0.97	0.73
15	0.77	0.23	0.66	0.76
17, 18	0.67	0.32	0.66	0.76
19 - 21	0.67	0.39	0.66	0.76
22 - 24	0.67	0.36	0.66	0.76

表のデータをプロットすると Fig.1-12 になった。式 (3-2) に基づいて濃度計算を始めるときの初期値は午前1時の実測データを使用した。

Fig.1-12で計算が実測値よりも他のものと比較してかけ離れて小さくでているものの中で、実線で囲まれたデータは、12月21日の7時から12時までのものである。日刊天気図によって行なった同日の気象パターンはTable 1-12-1) に示すように、4時までが分類-4、4-6時が分類-5、7時以後分類-6に属するものとしていた。しかしながら大阪全域の平均風速は付録Table 1-A-5に示しているように12時頃まで1m/sec前後の非常に弱い風であり、汚染濃度は10-11時頃には0.13ppm以上になっており、12時頃から風が強くなり始め濃度は下っている。したがって寒冷前線が通過した正しい時刻は実際には12時頃であり、この時間的な気象パターンの区別の誤りが大きな濃度推定値の誤差を生じた原因と考えられる。計算値が実測値より他のデータと比較してかけ離れて大きくでているものの中で、破線で囲まれたデータは12月6日の10時から14時までのものである。この場合はTable 1-12から判るように計算に際して推定した気象パターンが10時から分類-2に属しているのに対して実際には分類-1が14時まで持続し、14時以後に分類-2が現われたとみるべきで、推定値が大きな誤差をもつ原因は、この場合も前者と同様気象パターンの時間変化の区別の誤りによるものと考えられる。12月6日のデータの近くにある1点破線で囲まれたデータは12月12日の11-15時のものであるが、これも前者と同様分類の誤りによるものであろう。

1時間ごとに推定される濃度の観測値との誤差は次式で得られる σ の値の大きさを評価する。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{C_{\text{obs}i} - \bar{C}_i}{C_{\text{obs}i}} \right\}^2} \quad 4-3$$

ここで N はデータの個数で C_{obsi} と \bar{C}_i は同時刻の汚染濃度観測値と計算値を示す。Fig. 1-12 にあげたデータに関して σ を求めたところ $\sigma = 0.43$ となった。データの数は 281 である。この σ の値は実測値を 1.0 とするとき計算値が 0.564 と 1.436 の範囲に入る確率が 0.68 であることを示している。

Fig. 1-13 は計算値と実測値の日平均濃度の関係を表わしている。同図でとくに実測値と計算値との間の誤差が大きな日は 12 月 21 日、次いで 12 月 18 日であった。このように 21 日のデータが大きな誤差を生じた原因は Fig. 1-12 の説明で述べているのでここでは省略する。

18 日の日平均濃度推定値は 14 日のものと等しいとした。それは両日とも大阪の南を前線、低気圧が通過した日であったため、気象パターンがほとんど同じであったことによる。14 日の実測値は 0.0518 ppm で、推定値との差は 0.004 ppm であった。14 日は Table 1-A-5 によると 8 時から 13 時の間にわたって風速が 2 m/sec 前後であり、濃度は 0.08 ppm あたりであったのに対して、18 日には Table 1-A-5 に示されているように同じ時間帯で風速がおよそ 1.3 m/sec、濃度が 0.12 ppm 近辺であった。したがって 18 日の推定値がより低い値にでたのはその日が気象区分の分類 - 8 に属していたながらその分類での平均的な風速よりも風が弱く、浄化指数が小さかったことによる。

以上の濃度推定結果から、大気汚染濃度を正しく予測するためには時間ごとの気圧パターンを正しく判断することが必要であることがわかる。とくに不連続線が日中に対象地域を通過する場合、その通過時刻の早い遅いがその日の高濃度汚染の発生を左右する。気圧配置の変動とそのパターンの分類の判断が正しく行なえれば、汚染濃度の推定が Fig. 1-12, 13 の曲線で囲まれたデータ以外のばらつきの程度で可能となろう。

第 7 節 要約

都市全域の平均大気汚染濃度を予測するために使用する気象データとして、時

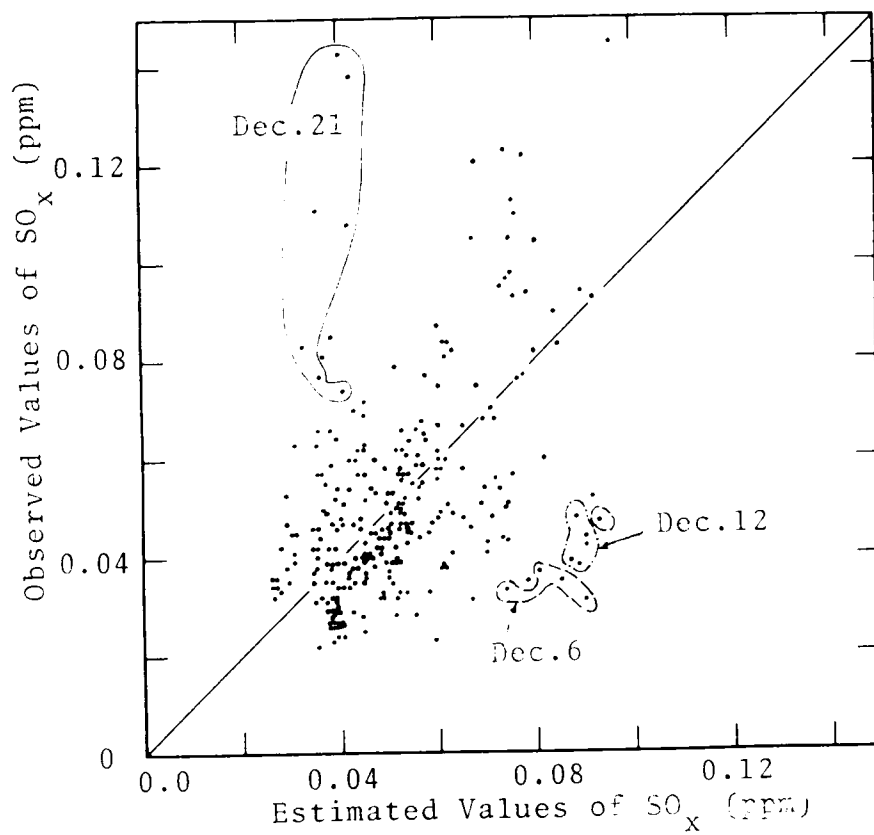


Fig.1-12 Comparison of Estimated and Observed Values of Hourly Concentration SO_x

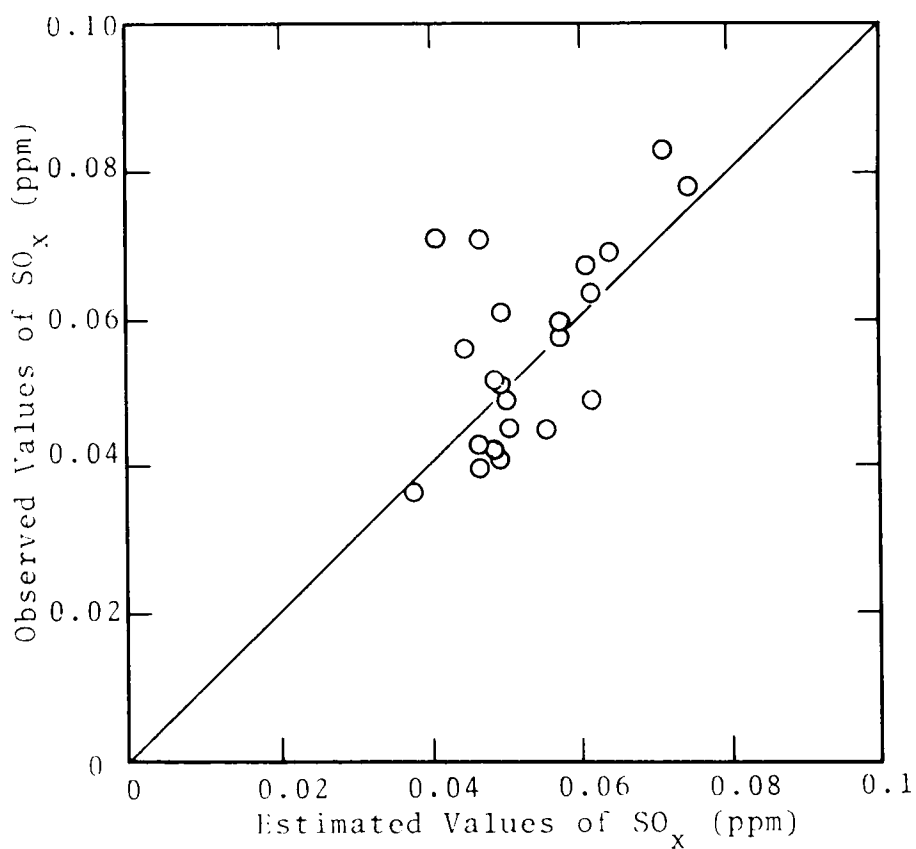


Fig.1-13 Comparison of Estimated and Observed Values of Daily Concentration SO_x

間的に変動する気圧配置のみを採用した。分析の手順は、まず気圧配置を類似パターンに分類し、その分類ごとにパラメーター α と β を求め、次いでその2変数の積で定義した浄化指数を求めた。パラメーター α と β は計算によって推定される値であり、評価関数式(4-1)から求めた。この評価関数ではパラメーター α と β を短時間の汚染データから個々に推定できないため、パラメーターの一方を長時間一定値をとる変数とし、他を時間的に変動する数であるものと仮定した。 α を1日間一定にする方が β を一定にするよりも評価関数をよりよく満足することがわかった。

浄化指数は分析に使用した期間内のデータからは、寒冷前線の通過後が最も大きく、高気圧の後面から寒冷前線の通過前までが最小となることが認められた。この結果はこれまで経験的に知られている汚染濃度と気象条件の関係を定量的によく表わしているものと考えられる。

パラメーター α と β の持つ特徴を知るためにパラメータを推定したと同じ日時の平均風速とパラメーターの値との関係について2,3の考察を行なった。その結果次のことが明らかとなった。

- a) α は風速が大きいほど小さな値をとる傾向がある。
- b) β は風速が大きくなるにつれて大きくなる傾向が認められた。その場合天気が悪いときは風速に比例する傾向が明白に現われ、天気が良いときには風速よりも大気安定度に関連することがわかった。

気圧配置のカテゴリー分類化とそのときのパラメーターの関係を使って現象を分析する方法の欠点は気象条件が連続的に変化するときでも、パラメーターを一定値にしておかねばならないことである。これは現象論的にいって、短時間の汚染濃度の予測を行なうときに決して合理的な方法であるとはいえず、予測値の精度も落ちるであろう。しかし1日平均濃度のような長期間平均の予測には問題としないであろう。

同じカテゴリーに属していても、気圧のスケール、気圧傾度、形状の違いは、

常にある、それによってパラメーターの値も大きく異なることもあろう。したがって、とくに時間平均濃度のような短時間ごとの予測には、気圧配置のパターンを分類化したデータよりも、きめの細かな少なくとも地域の数時間にわたる平均風速が気象要素として使用できることが予測精度をあげる上で望ましい。

第5章では気象要素に、風速、風向、日射量、雨量、雲量を使用してパラメーターの分析と汚染濃度の推定を行っている。

第5章 気象要素と浄化能力

第1節 概説

SingerとSmith(41)は米国ブルックヘブンの濃度推定を目的とした大気安定度の分類表を作った。これは風向の変動中と流跡の形状によって分類されている。それが少し抽象的であったため、その後Pasquill(42)は大気拡散に作用する気象因子として日射量、風速、雲量を取りあげ、拡散パラメーターをそれら因子の組み合わせで表わした。彼が完成したこの気象と拡散パラメーターに関する関係はこれまでもっとも広く実用されているが、その理由はこの表の気象因子が一般的でだれにでも比較的容易に扱いやすいことによる。

第4章では気象条件に気圧配置のみを与えたときの同数式モデルのパラメーターを気象の関係および濃度推定の精度について求めたのに対して、本章では気象条件として風速、日射量、雲量の経時変化を取りあげパラメーター σ と気象因子の関係を明らかにし、それらの関係式によって広域汚染濃度の推定を行なう。

第2節 数式モデルの適用とパラメーターの推定

パラメーター Γ は式(3-3)の関係によって与えられたが、ここでは Γ を直接推定可能な量とする。式(3-3)の右辺第2項を無視して風速のみの関数とみなし、新たに Γ を式(5-1)によって定義した。

$$\Gamma = \frac{1}{LZ} \int_0^Z u(z) dz \quad 5-1$$

ここで L は主風向の方向の汚染対象地域の大きさで、 $u(z)$ は地上からの高さ z での水平主風向風速を表わす。

σ は式(5-1)を式(3-2)に代入して求めた濃度計算値が次式(5-2)を満

たすように選ばれた値として定義される。

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^m \{C_{\text{obs}}(t+(i-1)\Delta t) - \bar{C}(t+(i-1)\Delta t, Z_j)\}^2$$

—————→ minimum

5-2

ここで $m=3$, $\Delta t=1$ 時間とする。 Z は定性的に対象とする地域面積 S の上空で汚染物質が拡散し得る高度と密接な関係を持つ量とみなすことができる。したがって Z は大気の安定度、とくに鉛直方向の混合力の大きさの支配を受ける。

パラメーター Γ は対象とする地域の平均的な風速の鉛直分布が判れば式(5-1)から得られるが、風向、風速の鉛直分布は詳しく測定されていないので、式(5-1)中の $u(z)$ は明確ではない。そこで式(5-1)から Γ を求めるために次のような仮定を行なった。

- a) 上空 1km 近辺までの風速は指数分布法則で表わせる。その指数を 0.4 とする。
- b) 風の測定地点の平均高度は 15m とする。
- c) 風は大阪全域で 24 時間の間、同一方向に吹く。
- d) 都市の代表径を単純化するために大阪地方の対象地域を円形と見なし、 L はその直径 23.64km に等しいものとする。

風速は平均汚染濃度を求める場合と同じ方法によって 14 か所の監視点で測定された値を平均化した。式(5-1)は上述した仮定によって次式となる。ここで $Z > 1$ km のときは $Z=1$ km の風速が当てはまるものとした。

$$Z \leq 1000 \text{ m} \longrightarrow \Gamma = 0.1086 u(15) \left(\frac{Z}{15}\right)^{0.4}$$

$$Z > 1000 \text{ m} \longrightarrow \Gamma = 0.152 u(15) \left(\frac{1000}{15}\right)^{0.4} \left(1.0 - \frac{286.0}{Z}\right)$$

5-3

第3節 浄化能力の推定結果および考察

3-1 パラメーター Z に関する考察

風速は大気汚染物質の希釈にもっとも大きな作用をする要素である。それは汚染物質を移送すると同時に大気安定度に影響を与える。大気安定度は気温の鉛直分布と風の鉛直分布から評価される。ある時点の気温分布はその時点までの日射量、雲量、風速等の要素によって決定されるので、混合拡散力を求めようとすれば、その時点のリチャードソン数や気温分布、風速の値を使ってその程度推定することが可能である。しかし大気の混合拡散力を地表面で観測した風速、日射量、雲量によって推定しようとするならば、それは過去数時間にわたる諸気象現象の履歴の結果として与えられるので、過去数時間の諸データを同時に採用せねばならない。

以上の観点からパラメーター Z は次のような気象因子と重回帰方程式によって関係づけられた。

- (a) その時点での対象地域の地上平均風速 (m/sec)
- (b) 4時間前からその時点までの雲量の平均値
- (c) その時点までのその日の全水平面日射量 (cal/cm²)

12月3日から26日までの期間にわたって式(3-2)、式(4-2)から推定した Z は平均風速とともに付録の Table 1-A-5 に示される。Fig. 1-14, Fig.

1-15は夕方 17時から午前5時にかけてのパラメーター Zと平均風速の関係を
示しているが、Fig.1-14 は 15, 16, 1-3 方位から風が吹き続ける場合の
と平均風速の関係を示し、Fig.1-15 は 7-14 方位から風が吹いている場合の
ものを示す。風向が異なつた場合にZの値と風速の関係が少し異なり、海側から
風が吹く場合にもう一方の場合に比してZが小さくなる。その理由は大阪の対象
地域に分散する汚染源分布密度が大阪湾寄りに高いことによるものと考えられる。
したがって仮に排出源が同地域に均一に分布しているものと仮定すれば、それら
2つの異なるZの値の間にZの値がくるものと見なしてよい。

各時刻ごとに推定したパラメーター Zとそのときの気象要素を示すと付録の
Table 1-A-6 となる。このデータに基づいてZと気象因子を組み合わせて作
つた変数との重線型回帰方程式を前進選定手順の方法によって求めた。同手順は
応答Zにもっとも大きい相関を持つ1つの予測変数を選定し、線型回帰方程式を
作る。次に他の予測変数との偏相関係数を見つけZとの間にもっとも高い偏相関
係数を持つ予測変数を見つけ、これを回帰方程式に組み込む。この手順をくり返
し逐次予測変数を回帰方程式に加える。

Fig.1-14, Fig.1-15の関係から夜間のZは風速の逆数のみを予測変数
とした。それぞれの相関係数は 0.805 および 0.901であつた。朝6時から午
後にかけてのZを推定する重線型回帰方程式の予測変数には、前述した(a),
(b), (c) の状態変数を次のように変換し、線形模型の予測変数とした。

- (a)' 風速の逆数 ($1/U$)
- (b)' 風速の逆数と雲量の積 (cd/U)
- (c)' 風速の逆数と日射量の積 (q/U)

各時刻に対するZと上の3つの予測変数との間の回帰分析の結果を付録の
Table 1-A-7 に示す。横軸に時刻をとり縦軸にZと3つの予測変数との相関係数
をとると Fig.1-16 となる。この結果によると夜間から7時頃までZは風速の
逆数との相関が高い。8時になるとすべての予測変数との相関係数は小さくなる。

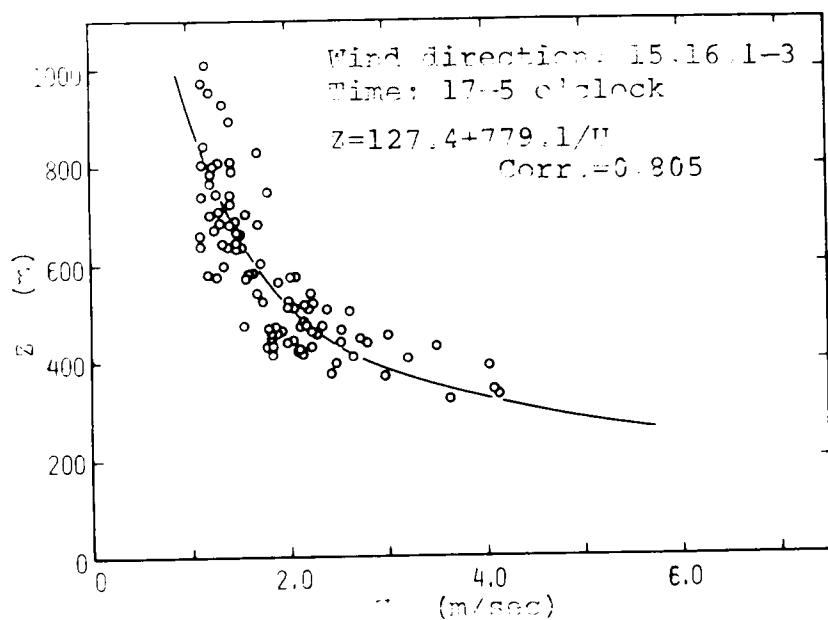


Fig.1-14 Relationship between Z and U in the Night-time

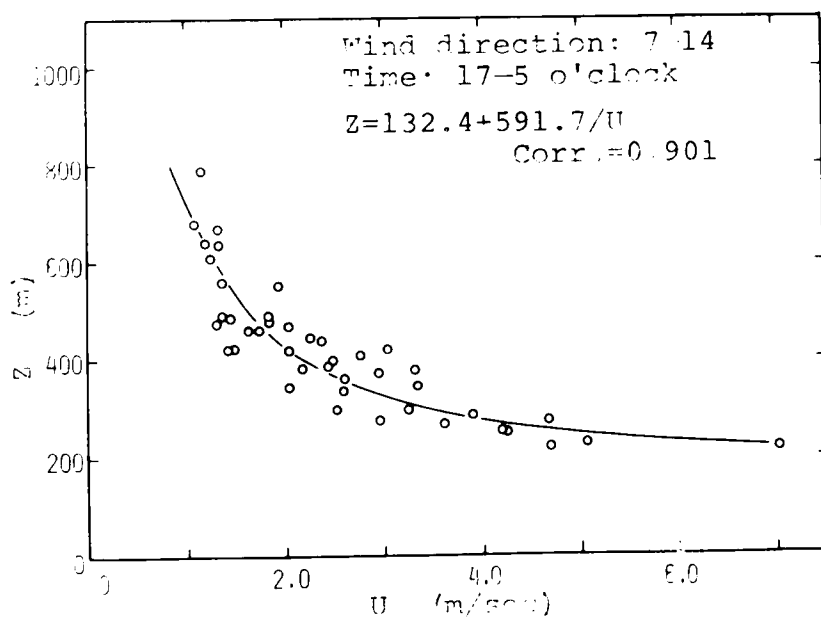


Fig.1-15 Relationship between Z and U in the Night-time

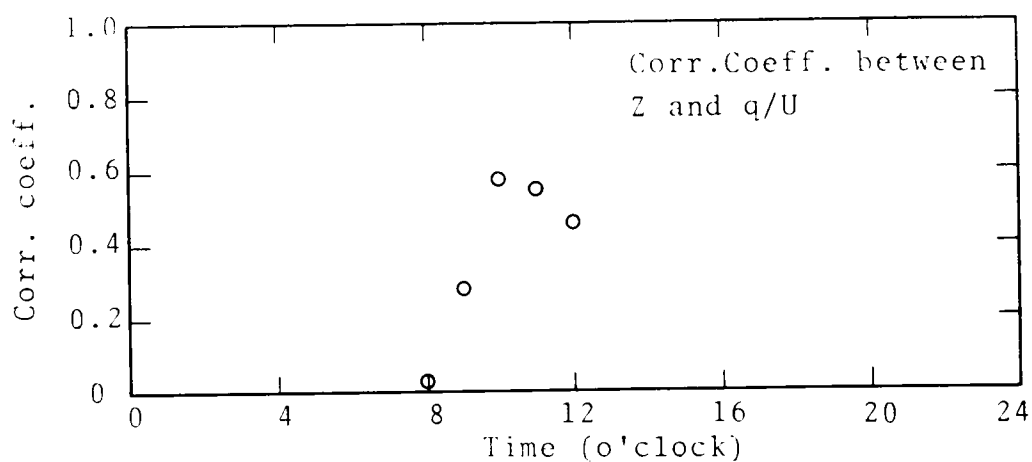
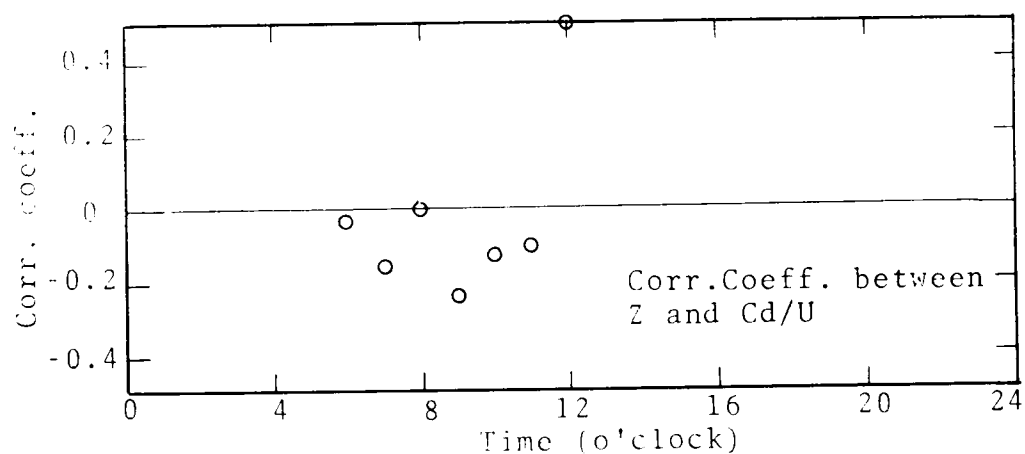
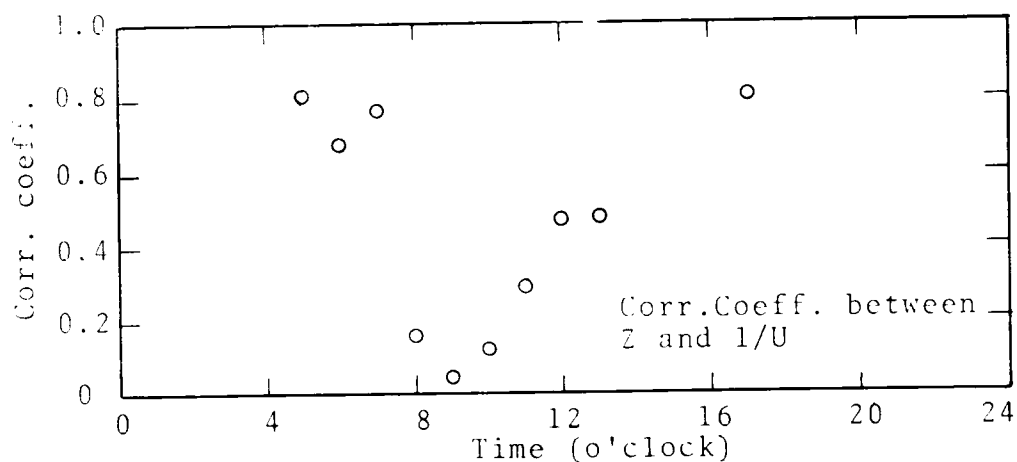


Fig.1-16 Correlation between Synthesized Meteorological Factors and Parameter Z

9時になると日射量にかかる予測変数との相関係数が高くなりはじめ、10-11時に最大となる。一方風速の逆数との相関係数は10時頃から増加しはじめる。

このような γ と各予測変数との相関係数の時間的な変動は1日を周期とする大気安定度の変化を明らかに特徴づけている。すなわち早朝の大気安定度はその時点までの雲量と風速の支配を受ける。このことは早朝の放射逆転と関係する。日中の大気安定度は日射量と風速の支配を受ける。このことは気温の上昇による不安定性に作用する。夜間の大気安定度は風速の支配を受ける。

Fig.1-19 で (Cd/U) と γ の相関係数が8時および12-13時だけ他の時刻の値とかけ離れている。8時の値のかけ離れた理由はその時刻には地表面近くでそれまで安定であった大気が不安定になり始める時期にあたり、その時期は何らかの外乱によってその変動が早くもなり遅くもなるのでデータのばらつきが他の時間帯よりも大きくなることによるのではなかろうかと推定される。12-13時の相関係数が前時刻までの値とかけ離れて大きい理由は、やはり海風の発生と関連しているものと考えられる。すなわち雲量の増加はよく晴れているとき11時頃から発生する海風を発生させないように働く。

Table 1-18 は Z と気象要因の重線形回帰方程式と重相関係数、 F_0 値および R^2 値を示す。 F_0 は次式で与えられる(43)。

$$F_0 = \frac{S_R / \phi_R}{S_E / \phi_E} \quad 5-4$$

ここで S_R は回帰による残差平方和、 ϕ_R は回帰方程式中の予測変数の個数、 S_E は回帰よりの残差平方和、 ϕ_E はデータの個数から1と予測変数の個数を差し引いた自由度を示す。

S_R と S_E は次式で与えられる。

$$S_R = \sum_{ii=1}^N (Z_{ii} - \bar{Z})^2 - S_E \quad 5-5$$

$$S_E = \sum_{ii=1}^N (Z_{ii} - \hat{Z}_{ii})^2 \quad 5-6$$

ここで \bar{Z} はデータ Z の平均値であり、 N はデータの個数を示す。

Table 1-18 で示された回帰方程式の回帰の有意性の検定を行なうと、 F 分布表から上部 1%，分子の自由度 15，14，および分母の自由度が 2 の場合、

$$F(2, 15, 0.99) = 6.36$$

$$F(2, 14, 0.99) = 6.51$$

であり、Table 1-18 に求めている F_0 値は F よりも大きいので、帰無仮説回帰式の係数 = 0 は棄却され重回帰式に意味があるといえる。

R^2 は次式で与えられ 回帰によって説明される \bar{Z} よりの変動の全変動に対する

$$R^2 = \left\{ 1 - \sum (Z_i - \hat{Z}_i)^2 / \sum (Z_i - \bar{Z})^2 \right\} \times 100 \% \quad 5-7$$

る割合を示す。 R^2 の値が 100% に近いほど回帰方程式が満足すべき状態にあるといえる。

14 時から 16 時までの時間帯で Z に関する回帰方程式を求めているが、その理由は Fig. 1-17 からわかるようにその時間に海風が発生し、一度海上へ出た汚染大気が再び地域上空に戻ってくる場合が多いため、それが推定した Z の値に影響を与え、そのような影響を持たない採用可能なデータの個数が少なかったことによる。

12 時と 13 時の Z の値は同様に海陸風の交換の影響を受けないデータが少な

Table 1-18 The Regression Line between Large Scale
Mixing Parameter Z and Meteorological Factors

Time(o'clock)	Regression equation	Multi. Corr. coeff.	No. of sample	F ₀	R ² (%)
17-5	Z=127.4+779.1/U* or Z=132.4+591.7/U**	0.805 0.901	93 41		
6	Z=282.8+443.0/U-13.7Cd/U	0.704	17	229.0	97.0
7	Z=277.6+240.3/U-3.14Cd/U	0.779	17	247.0	
8	Z=346.9+51.96/U	0.160	17	115.0	94.2
9	Z=469.9+24.3q/U-294.6/U	0.467	18	139.7	94.8
10	Z=465.6+20.9q/U-443.4/U	0.710	18	265.0	97.2
11	Z=438.5+10.2q/U-223.8/U	0.592	18	200.0	97.3
12,13	Z=303.8+89.3Cd/U+6.61q/U-797.6/U	0.795	19	253.0	98.1

* : Wind direction 15-3
 **: Wind direction 7-14
 U : Wind speed (m/sec)
 Cd: Cloudiness
 q : Insolation (cal./cm²)

かったため2時間のデータをまとめて1つの回帰方程式で表わした。海陸風の交換がない日のデータを選んだつもりであったが、前述したごとく気象変数との相関係数の値から判断して、それらの内にも海陸風の交換による影響の現われているデータが含まれていることが判った。12-13時の回帰方程式の予測変数の中で日射量はその日の総日射量を与えており、他の時刻の式に対する与え方と異なっている。

概して日中の回帰方程式の重相関係数が夜間のそれらよりも小さい原因の1つに、毎時刻に回帰方程式を求めたためデータの個数が夜間のそれらよりも少なくなり、式を海風、陸風の場合の2種類に分けて作らなかったことがあげられる。

日中の内とくに8時と9時の回帰方程式の重相関係数は小さな値をとっているがその原因として次のようなことが考えられた。第1に、複雑な汚染拡散の現象を単純な数式モデルとパラメーターによって表現したこと、第2に、8-9時頃はそれまで温度成層的に乱れていなかった大気が不安定になり、乱れ始める時期に当るが、とくに安定な状態にあった大気が温度成層的に不安定となり、その結果、乱れが生じ始める時刻は何らかのはずみによって遅れたり早まったりすることによる。それは、リチャードソン数が小さければ小さいほど大気の乱れの起きる可能性が大きいことを表わすが、必ずしもその値がその時の乱れの尺度とはならないことと対応する。

次に、本章で推定した z の値と、第4章で推定した z の値の比較を行なってみる。前章で Γ を変数とおいて推定した z の値はTable 1-16に示されているが、それらの値と本章で推定した z の値を比較すると、前者の方がその変動幅が大きく、900mより大きくなる日がたびたび発生している。一方本章の結果は、付録Table 1-A-5から分るように900mを越える時間はきわめて少ない。その原因には次の事柄をあげることができる。

- (a) 風速の鉛直プロフィールに指数法則を仮定し、地上平均風速を上方1000mまで延長しているが、これが実際のプロフィールと異なっているので実際よりも

大きな値を Γ に与えている。

(b) 風向の鉛直方向高さによる変動，あるいは風の循環，収束，発散を無視するので，推定した Γ が実際にとるべき値と異なる。

(c) 計器による風速の測定値はある方向へのみ流れる風以外の成分も含むので， Γ は単に測定値に比例するとは限らない。

風速の鉛直プロファイルは気圧配置によって各特徴を持つものと思われ，より合理的に Γ の値を推定するためには上空の風の詳細な測定を行なう必要がある。

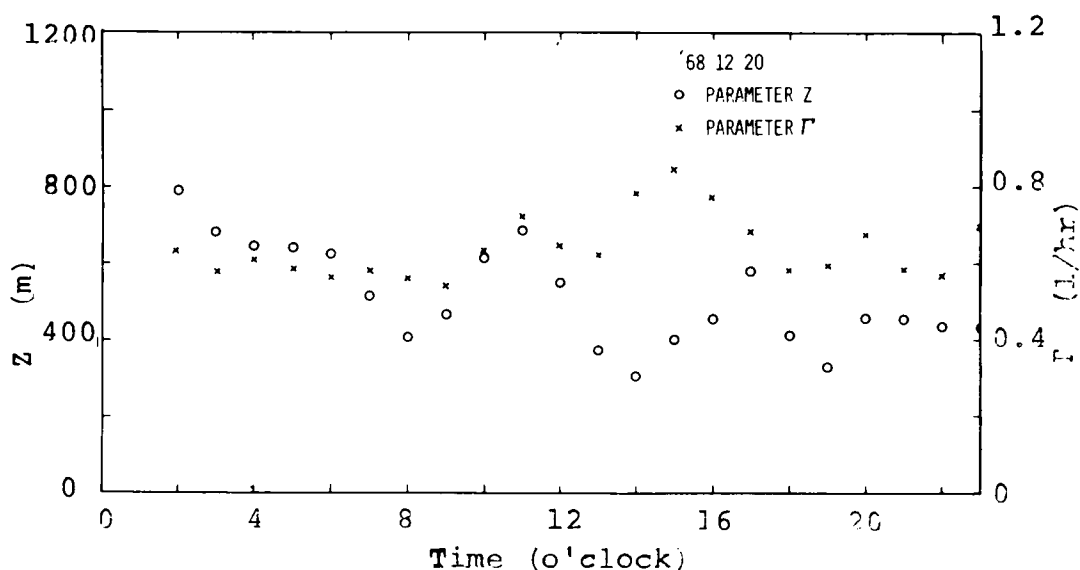


Fig.1-17 Estimated Z and Γ by Eq 5-3

3-2 海陸風交代による汚染大気の流れ

大阪地方は地形的には西は大阪湾に面し，北は六甲山系，東は生駒山系に囲まれ，東北方面は淀川を中心に京都盆地まで平地が開けている。大阪管区気象台で測定される地上風向は西の風と，北北東の風が高頻度に記録される。高気圧の中心に同地方が覆われるときなど海陸風の発生をみる。都市の上空から外へ出た汚染大気の塊の濃度が単位時間にどの程度希釈され，さらにその塊の何%がまた

たび上空へ戻ってきて都市域の汚染に寄与するかはきわめて複雑で、これから解明されねばならない課題である。シカゴにおいて、ミシガン湖の上へ出た汚染大気の挙動についての研究がなされているが(44)、その現象はまだ十分定量的に解明されていない。日変化濃度を推定するためには、このような汚染大気の逆流入を無視することは濃度予測に大きな誤差を生ずる原因となる。

Figs.1-5,6,17 は12月20日と25日の Σ ないしは Γ の推定値の時間変化を示しているが、いずれの図も12時から15時にかけて Σ ないしは Γ の値が減少している。両日の気象条件はTable 1-15にあげているように、午前中北北東の風が吹いているが12時頃を境に西よりの風が吹きだし16時頃まで続いている。 Σ ないしは Γ の減少の挙動がこの風向の変動と非常によく一致している。このような風向のほど180°に近い変換はいったん都市上空から他の地域へ出た汚染大気をふたたび大阪上空へ逆流させる。上空へ戻る汚染大気の量は風向のわずかな変動によっても微妙な影響を受ける。Table 1-19は、式(5-3)とTable 1-18にあげた式によって求めた Σ を使って実測平均濃度データから推定した外部から流入する汚染大気の濃度(式(3-1)の C_{out})を逆算した結果を示す。14か所の大気汚染監視局の風向のデータによって典型的に風向が陸風から海風へ短時間のうちに180°変換したものと推定された日は12月7, 20, 25日であった。Table 1-12に示すように3日間とも大阪が高気圧の中心に位置する日で天気が良く典型的な海陸風が発生する条件をそなえていた。Fig. 1-18はその C_{out} のデータを海風の始まる時刻を0として横軸に時間、縦軸に C_{out} と数時間前に都市を覆っていた C_{obs} の元の濃度との比をとっている。同図から気塊中の汚染物質の希釈による浄化速度は次式(5-8)の関係が成り立つものと仮定し、 Λ を最小2乗法によって推定すると $\Lambda=0.121(1/hr)$ となった。

$$\frac{dC}{dt} = -\Lambda C \quad 5-8$$

Table 1-19 Pollutant Concentration of Air Mass Flowing Backward on an Urban Area

Date,time	C_{out}	C	C_{out}/C	Traveling time (hrs)
7 - 14	0.101	0.104	0.97	1
15	0.077	0.083	0.93	3
16	0.067	0.094	0.71	5
17	0.030	0.077	0.38	7
20 - 12	0.021	0.070	0.29	1
13	0.005	0.085	0.60	3
14	0.050	0.061	0.81	5
18	0.064	0.077	0.83	7
25 - 14	0.052	0.077	0.68	1
15	0.052	0.078	0.57	3
16	0.010	0.091	0.11	5
25 - 22	0.039	0.052	0.76	1
23	0.016	0.055	0.29	3

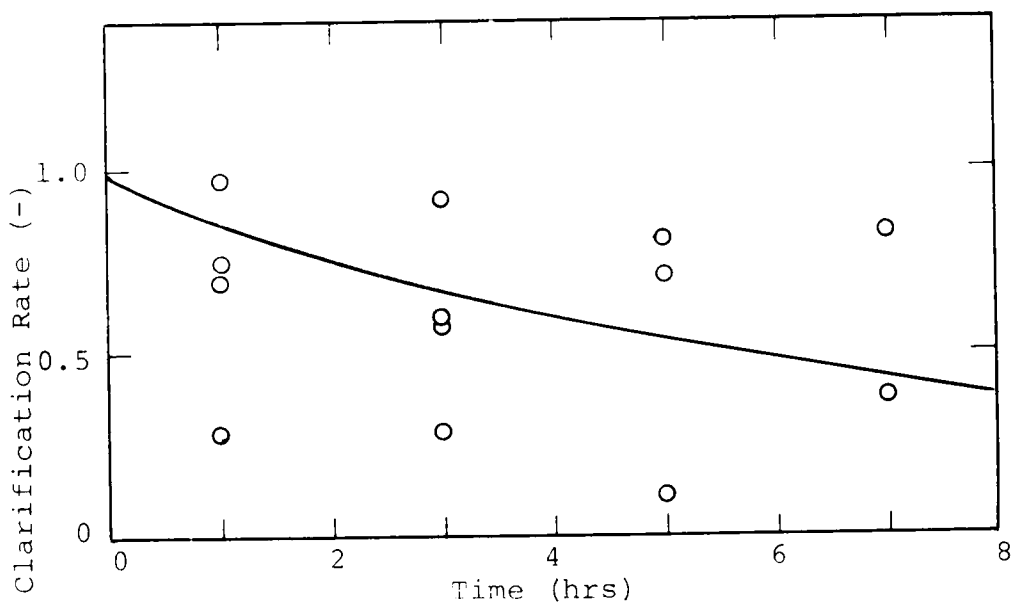


Fig.1-18 Elapsed Time of Pollutant Air Flowing Backward and Clarification Rate of Pollutant

データのばらつきが大きく個数も少ないので上式は非常に精度を欠いている。しかし次の第4節で行なう汚染濃度推定計算には海陸風の効果を無視するよりも、たとえ誤差を含んでいても考慮した方がよいという考えから上式を利用した。

第4節 汚染濃度推定結果、および考察

汚染濃度の推定に利用する気象要素は広域の場所的に平均化した地上風速、日射量、雲量、風向、および雨量の1時間ごとの値である。これら気象要素はあらかじめわかっているものとして推定を行なう。計算は式(3-2)を基礎式としているが、同式中のパラメーター F は式(5-3)を、 Z はTable 1-18の回帰方程式から求めた値を利用した。14時から16時にかけての3時間にわたる Z の値は回帰方程式で求めた13時の Z の値と17時の Z の値を補間することによって求めた。

昭和43年12月3日から同月20日までの日曜日、月曜日を除く濃度推定値を付録Table 1-A-8に示す。そのうち8日間の実測値と計算値の経時変化を図示するとFig.1-19となった。

Fig.1-20は1時間値の実測濃度を縦軸に計算濃度を横軸にして2つの値の対応を示したものである。この図によるとプロットは原点を通る勾配1の直線の周りにばらついているが、そのばらつきの大きさを評価するために式(4-1)を使って分散 σ を求めたところ $\sigma=0.290$ を得た。ここでデータの数395個である。この分散の値は第4章で行なった気圧配置を分類した方法で求めた計算値の結果(0.436)よりも実測値の周りのばらつきが小さく、よい精度を得ている。

Table 1-20はある濃度を基準としてその濃度を越えるかどうかを正しく判定する確率を求めることによって2つの濃度推定方法によって得た1時間濃度計算値の精度を評価した結果を示している。いずれの濃度を基準にとっても後者の推定法による方が高い確率を得ている。

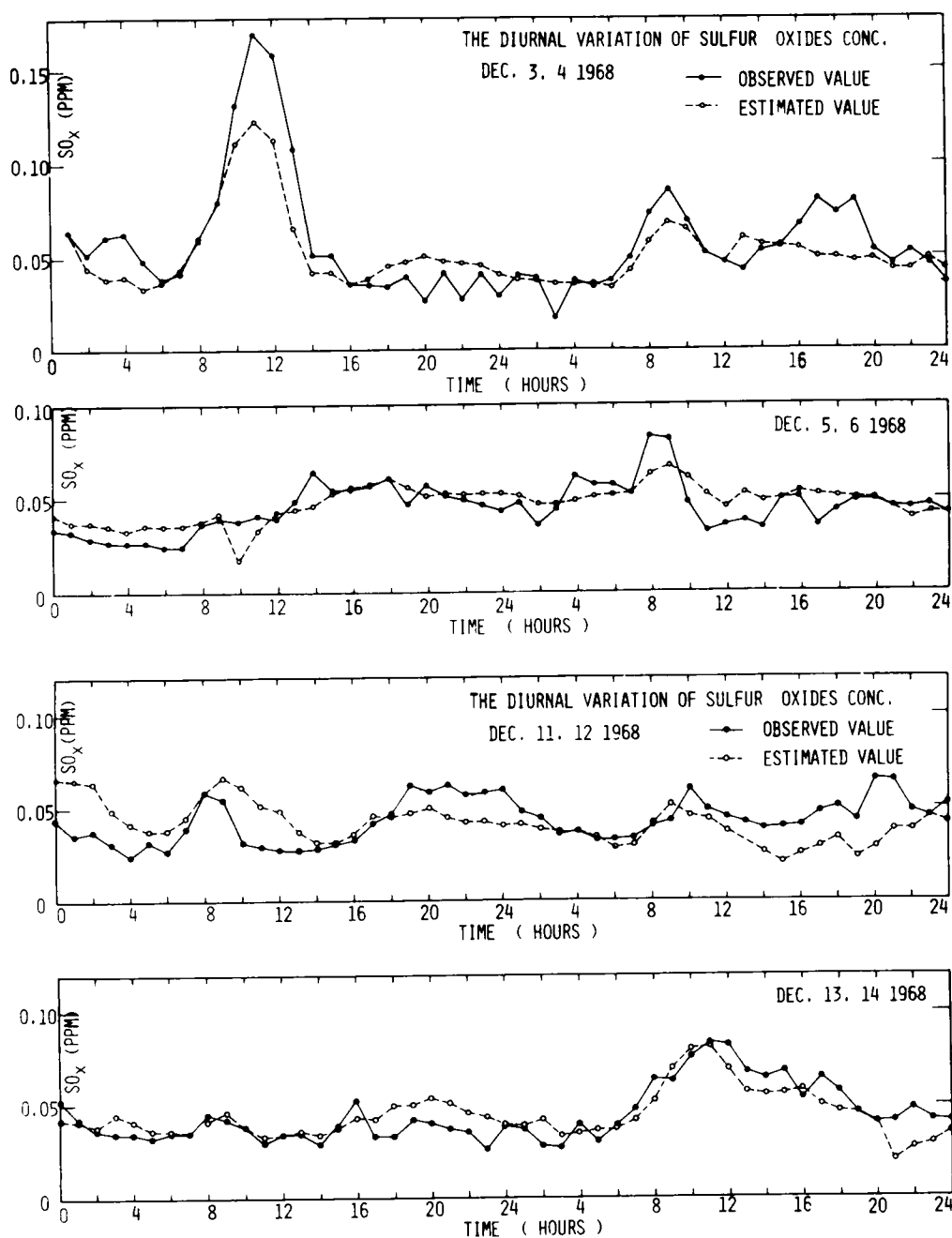


Fig.1-19 Diurnal Variation of SO_x Concentration

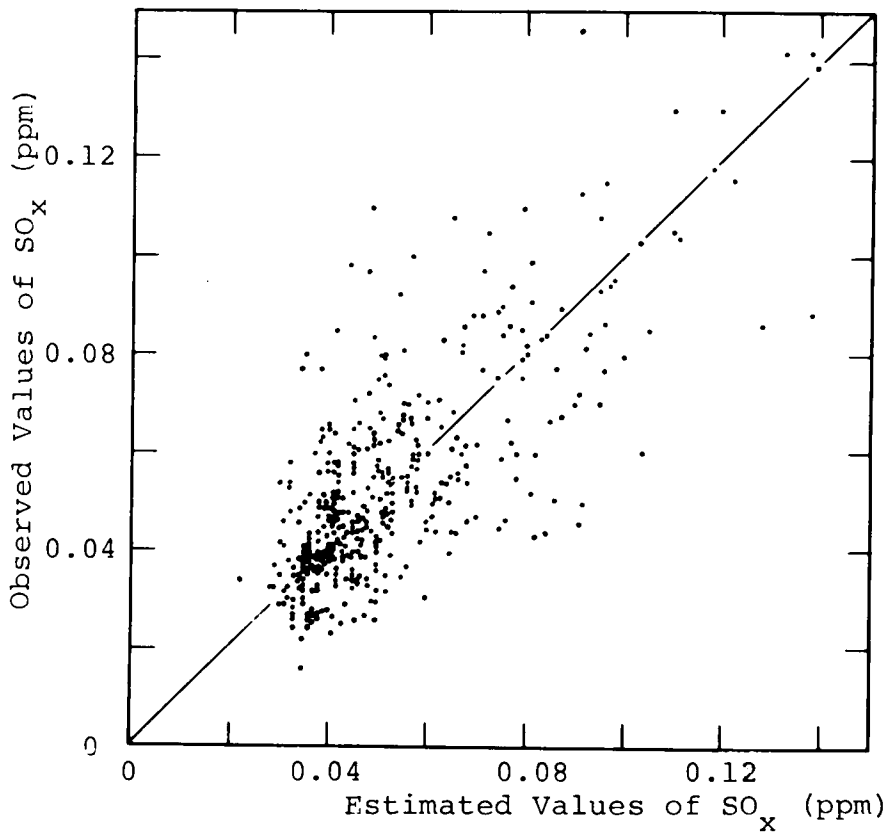


Fig.1-20 Relationship between Observed and Estimated Values of Hourly Averaged SO_x (ppm)

Table 1-20 Accuracy of Estimated Values of SO_x by Two Methods

SO_x (ppm)	Method-1 (Data:281)	Method-2 (Data:395)
0.05	0.646	0.790
0.06	0.735	0.763
0.07	0.840	0.884
0.08	0.862	0.896

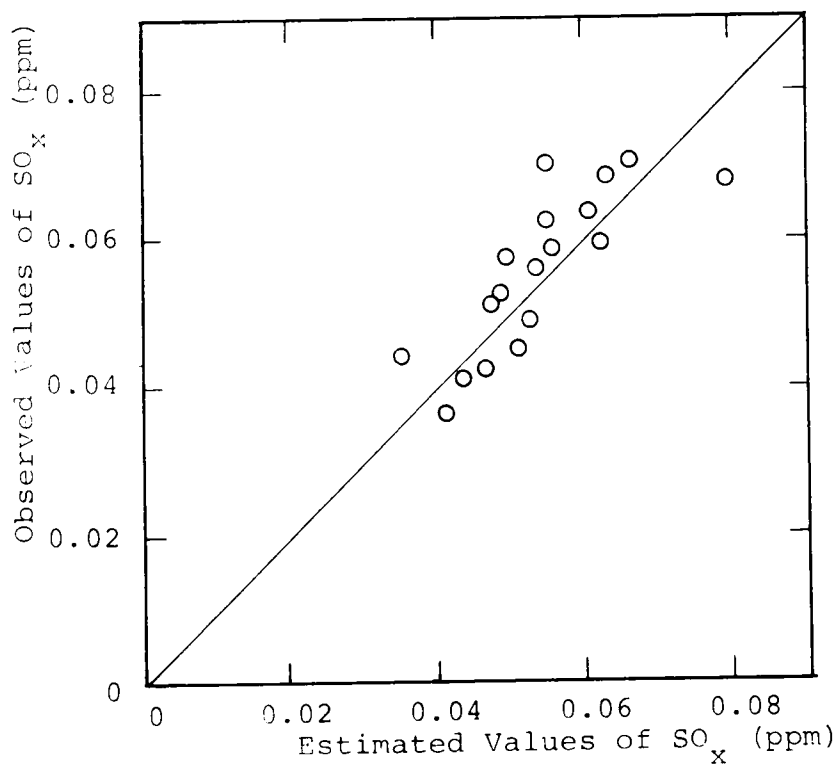


Fig.1-21 Relationship between Observed and Estimated Values of Daily Averaged SO_x (ppm)

Fig.1-21 は 1 日平均濃度の実測値と計算値の関係を示している。気圧配置をカテゴリーに分類する方法で推定した値と比較するために実測値と 2 つの方法による計算値を Table 1-21 に表示する。日平均濃度もやはり気象要素として風速、日射量等を使って推定する後者の結果が気圧配置のみから求めた結果よりも精度が高い。

これまでは提案した濃度推定のための数式モデルを使って汚染物質の非定常状態の分析と推定を扱ってきたが、次に定常状態について Holzworth (39) のモデルと比較検討した。

定常状態のとき式 (3-2) は次式のように書きかえられる。

$$\frac{C}{Q_A} = \frac{1}{(\Gamma+k)Z} \quad 5-9$$

C/Q_A はいわゆる汚染ポテンシャルを表わし、汚染物質の排出強度に関係しない量として C/Q_A が小さければ大気浄化能力が高く、大きければ大気浄化能力が低いことを意味する。

汚染ポテンシャルについては Holzworth は第 3 章の Table 1-8 にあげたような経験式を得ている。都市の大きさを $L=23.64\text{km}$ 、大気混合層高度を高く見積って 3.0 km 、風速を 4m/sec とおいても

$$\frac{L}{u} > 0.471 D_m^{1.13}$$

となるため、大阪地方に同式を当てはめた場合には彼の 2 つの定式の内第 2 式

$$\frac{C}{Q_A} = 3.613 D_m^{0.13} + \frac{L}{2 D_m u} - \frac{0.088 u D_m^{1.26}}{L} \quad 5-10$$

Table 1-21 Observed and Estimated Values of Daily Average SO_x Concentration (ppm), 1968-1969

Date	C _{Observed}	C _{Method-1}	C _{Method-2}	Date	C _{Observed}	C _{Method-1}	C _{Method-2}
Dec. 3	0.0587		0.0544	20	0.0674	0.0610	0.0783
4	0.0524		0.0471	21	0.0702	0.0403	0.0537
5	0.0422	0.0467	0.046	24	0.0574	0.0576	0.0481
6	0.0483	0.0614	0.0517	25	0.0635	0.0614	0.0596
7	0.0688	0.0639	0.0618	26	0.0626		0.0534
10	0.0592	0.0577	0.0612	Jan. 9	0.0385	0.0469	
11	0.0412	0.0491	0.0428	10	0.0776	0.0749	
12	0.0443	0.0553	0.0346	11	0.0605	0.0488	
13	0.0361	0.0378	0.0408	18	0.0824	0.0714	
14	0.0512	0.0488	0.0462	21	0.0501	0.0488	
17	0.0560	0.0446	0.0523	23	0.0798	0.0545	
18	0.0706	0.0488	0.0650	25	0.0403	0.0488	
19	0.0443	0.0508	0.0500				

が当てはまる。大気混合層高度を風速の関数として与えていないので、いくつかの値を仮定することによってこの式から得られる汚染ポテンシャルを図示すると Fig.1-22 となった。

次に筆者の提案した数式モデルから得られた定常状態式(5-9)に各時刻の Z と式(5-3)で与えられる Γ を代入すると Fig.1-23 となった。ここで Z の値は、天気が快晴で雲量が0、日射量が同図中に示された値をとるものとして回帰方程式(Table 1-18)から求めた。

この2つの図を比較すると、風速が1-2m/secのときは曲線が重なる部分があり、 C/Q_A の値に差をあまり認め難いが、風速が4m/secの近辺になると、式(5-9)による結果は、式(5-10)の曲線から相当はずれる。式(5-9)は風速の増加に対して C/Q_A の減少が大きく、風速の変動が汚染ポテンシャルの変化に大きな影響を与えることを示している。一方Holzworthの式は風速が汚染ポテンシャルにあまり影響を与えないことを示している。

定常状態でHolzworthのモデルと本論で提案した数式モデルによる結果を比較したが、彼のモデルの作成された過程が明らかでないこと、そのモデルを米国のある地点で利用された結果がどうであるかを知ることができないこと、本論のモデルが大阪以外の都市で使用を試みていないこと、等によってどちらの数値結果がより正しいかを判断することはできない。

本論で推定したパラメーター Z や Γ が都市全域に対応するパラメーターであっても、その地域特性(気象的にも、汚染物質の排出源の平面分布や排出高度、有効煙突高度)の影響を少なからず受け、必ずしも他の地域に対して一般性を持つと言い切れない。このことはHolzworthのモデルについても言えるのではなかろうかと思われる。

第5節 要約

都市の平均大気汚染濃度を推定するために式(3-2)が使われた。同式は気象条

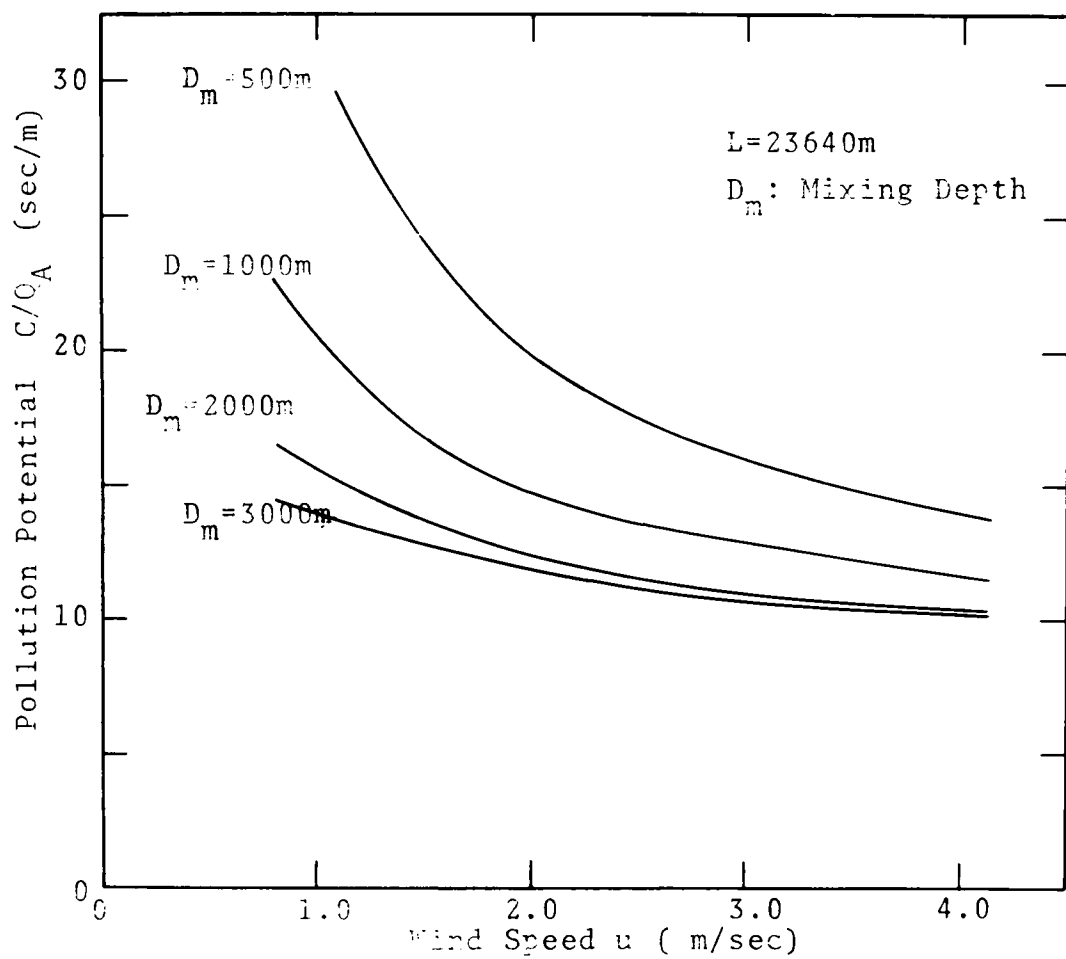


Fig.1-22 Pollution Potential by Holzworth's Model

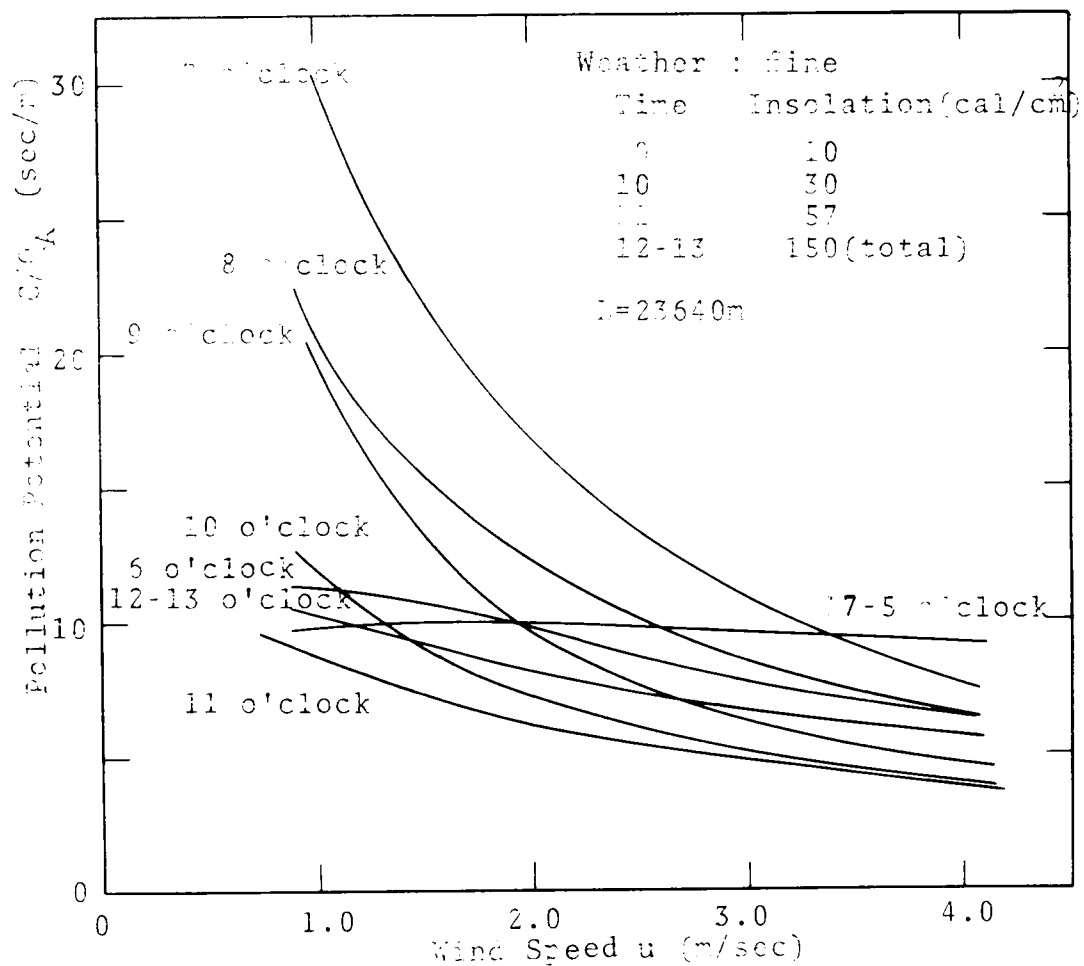


Fig. 1-23 Pollution Potential b Hg.5-9

件によって変動する 2 つのパラメーター Z と Γ を持っている。本章ではこれらパラメーターを風速などいくつかの気象観測要素から求め得るものと考えた。

気象条件とくに大気安定度は短時間の間に変動し易いが、1 時間を単位とする濃度をより正確に推定するには、気象現象の短時間の変動に追隨できるようなパラメーターを利用せねばならない。したがって 2 つのパラメーターの推定は、短時間のデータから行ない、それをその期間の気象特性と関係づける必要がある。

汚染濃度データと排出強度データは 1 時間を単位としているので 2、3 時間のデータから 2 つの変数を同時に推定することは精度的に困難である。そこで本章では Γ を風速とパラメーター Z の関数として式 (5-3) で与え、 Z を未知数と置いて 3 時間にわたるデータから式 (5-2) を満足するような値として推定した。

その結果 推定された Z の値は次のような各種の要素の影響を受けている。

- a) 大気安定度、とくに鉛直方向の空気の混合や対流効果
- b) 汚染物質の発生源位置、煙の浮力や運動量による上昇
- c) 定式化された Γ の値のシステムティックな誤差
- d) 風による汚染大気の吹き戻し作用

Z は風速、風向、日射量、雲量を予測変数とする重線形回帰方程式で表わされた。汚染濃度の推定精度が気圧配置のみを気象条件とする場合と比較して、そのばらつきの標準偏差が 2/3 になり、気象要因を詳しく与えれば汚染濃度の予測精度も高くなることが分った。

本章による方法でも汚染濃度推定値の精度があまり良くないときの条件は次の 2 つの場合であることか計算値を検討することによって認められた。

- i) 風向が大きく変動するとき
- ii) 降雨のあるとき

したがって大阪湾上の大気の汚染濃度の測定と、大気の変動パターン、そのときの気圧配置や気象条件の特性を把握すること、および気象台で得られた降雨量が大阪地方の代表値として適しているかどうかを野外実測によって検討する必要

があらう。

第6章 結論

大気汚染濃度の予測を高い精度で行なうためには、汚染物質の伝播メカニズムとそれに寄与する気象因子を見つけ出し、その因子との関係を解明することが必要である。とくに実用的な汚染濃度予測にその関係を役立てるためには、気象因子は常時測定されデータが豊富であり、また予測を正確に行ない得るものでなければならない。

気象現象の予測は、予測しようとする項目が持つ空間スケールが大きいとき、その大きさに対応して長時間先まで比較的正確な予測を行なうことができるという特徴を持っている。したがって広域の平均風速や気圧配置の予測はある1地点での風向、風速の予測よりも予測値を信頼し得る時間的限界が長くなる。

本論は12時間ないしは24時間先の硫酸酸化物による都市域平均汚染濃度の予測を定量的に行なうことを目的としているが、前述した気象条件予測の特徴を考慮しながら気象入力の詳しさが予測精度に与える効果をも明らかにするため気象要素の入力に2つの場合を設定した。第1の要素は、気圧配置のみを、第2の要素は、都市全域の平均風速、風向、日射量、雲量、雨量の時間変化である。

気圧配置はまったく同じパターンを再現することはないが、いくつかの類似パターンに分類することは可能である。本論文では類似パターンを13項目に分類した。この分類をさらに細分化することは可能であるが、天気図の精度、および予測の精度を考えたときあまりその効果を期待できない。

気圧配置の分類されたパターンごとに浄化指数が推定されたが、次のようなことが明らかとなった。

- 1) 天気が晴れとなる分類に属するときは、1日を周期とした大気安定度の変動に応じて浄化指数も変動する。
- 2) 天気が曇り、あるいは雨の分類に属するときは、浄化指数が時刻に従ってほとんど変動しない。

3) 浄化指数は寒冷前線の通過後の分類のとき最大値をとり、高気圧の後面に属するとき最低値をとる。前者は後者のおよそ 2.8 倍である。

気圧配置をいくつかの類似パターンごとに分類したとき、高気圧、低気圧、前線などの強弱、気圧傾度の違いが情報として使用されない。風速は、このような気圧傾度や、気団の強弱をもっともよく表わす気象要素である。そのような意味からも第1の予測法に使った気象情報の風速、日射量、雲量などの気象因子の組は、大気の状態を気圧配置のカテゴリーに分類する方法によるよりも詳しく表わしている。

個々の気象要素を情報量としてパラメーター「を風速の関数として与えて求めた Z は Table 1-18 にあげたように風速、日射量、雲量、の組み合わせとして表わされた合成変数と比較的高い相関関係をもち、 Z とそれらの諸量との間に重線形回帰方程式を得た。しかし気圧配置の分類法の所で1日平均値として推定された Z の値と比べると、天気が悪く風の強いときは両者は等しい値をとるが、天気が良いときには、第2の方法による方が第1の方法による方より小さな値をとる。このことから第2の方法で使った Z の定式を改良する余地があるのではないかと考えられる。

2つの異なった気象情報による方法での汚染濃度予測の結果から次の事項が明らかとなった。

気圧配置のパターン分類による第1の方法は1日平均汚染濃度の予測には利用できる。しかし1時間濃度の予測には適さない。これはあるパターン分類から他の分類へ変動するとき、パラメーター Z や「が不連続に変化するためである。一方個々の気象要素を使う第2の方法では、1日平均濃度の予測と1時間平均濃度の予測精度はともに第1の方法よりも高いことが認められた。しかし1日平均濃度の2つの方法での精度の違いは、1時間平均濃度の精度の違いほど顕著ではない。

パラメーターの変動と気象現象との考察から、汚染大気の高気圧交代による逆

流入が、臨海工業都市の汚染濃度を高めていることを明白にした。さらに対象地域外へ出た汚染大気の挙動を定量的に評価する手懸りを得た。

記 号 表

b	: 定数	(-)
C	: 大気汚染濃度	(ppm)
C'	: 汚染濃度の平均値からのずれ	(ppm)
\bar{C}	: 計算で求めた広域平均大気汚染濃度	(ppm)
$C(t_i)$: 計算で求めた t_i 時の広域平均大気汚染濃度	(ppm)
$C_{obs}(t_i)$: 時の広域の平均大気汚染濃度実測値	(ppm)
Cd	: 雲量 (日本式 10 進法による分類)	
D_m	: Miller によって定義された混合層高度	(m)
D_x	: 主風向方向の乱流拡散係数	(m^2/sec)
D_y	: 主風向方向に垂直水平方向の乱流拡散係数	(m^2/sec)
D_z	: 主風向方向に垂直上方向の乱流拡散係数	(m^2/sec)
i	: 時間を表わす添字, 場所を表わす添字	
j	: 時刻を表わす添字	
k	: 汚染物質の消滅速度定数	(1/hr)
L	: 対象とする地域の代表長さ (都市径)	(m)
Q	: 大気汚染物質の全排出強度	(m^3/hr)
Q_A	: 単位面積当りの大気汚染物質の排出強度	($m^3/m^2/hr$)
q	: 日射量	(cal/cm^2)
R	: 汚染物質の発生および消滅速度	(ppm/hr)
S_i	: 大気汚染観測地点 i によって代表される地域面積	(m^2)
t	: 時間	(hr)
t_{Dm}	: Holzworth らの数式モデル中に現われる時間のパラメーター	(hr)
t_L	: 都市の風上端からでた汚染物質が風下端に到達するに要する時間	(hr)
Δt	: 時間の微小区間	(hr)

U	: 鉛直方向に対して場所的に平均化した風速	(m/sec)
u	: 水平主風向風速	(m/sec)
\bar{u}	: 水平主風向風速の時間的平均風速	(m/sec)
u'	: u の \bar{u} からのずれ	(m/sec)
V	: 都市上空を覆う平均汚染濃度 を持つ大気の容積	(m^3)
\mathbf{v}	: 風速ベクトル	
$\bar{\mathbf{v}}$: 風速ベクトルの平均値	
\mathbf{v}'	: \mathbf{v} の $\bar{\mathbf{v}}$ からのずれ	
w	: 降雨強度	
x	: 平均水平主風向を正とする座標軸	(m)
y	: 平均水平主風向に垂直水平方向にとった座標軸	(m)
z	: x 方向に鉛直上方向を正とする座標軸	(m)
Z	: V なる容積で表わされる混合槽の地上からの高さを表わすパラメータ	(m)
$\epsilon(Z)$: 汚染濃度の計算値と実測値の誤差平方和, 式 (4-1)	(ppm^2)
$\epsilon_j(\Gamma)$: 汚染濃度の計算値と実測値の誤差平方和, 式 (4-1)	(ppm^2)
Γ'	: 混合槽 V 内の空気と外部空気の交換量	(m^3/hr)
Γ	: Γ'/V	(1/hr)
π	: 円周率	(radian)
σ_x	: x 方向の煙の広がり の標準偏差	(m)
σ_y	: y 方向の煙の広がり の標準偏差	(m)
σ_z	: z 方向の煙の広がり の標準偏差	(m)
σ	: 大気汚染濃度の実測値を としたときの推定値のばらつきの 標準偏差	(ppm)

引用文献

- (1) 大屋敦編 (1968) : 横浜市根岸地区大気拡散調査報告書 3月
- (2) 大屋敦編 (1968) : 岡山県水島地区大気拡散調査報告書 3月
- (3) 大屋敦編 (1968) : 茨城県鹿島地区大気拡散調査報告書 3月
- (4) 高田敏一編 (1967) : 阪神広域大気汚染共同調査報告書 3月
- (5) 高橋浩一郎 (1969) : 総観気象学, 岩波書店, 26
- (6) 横山長之 (1971) : 気象観測と公害気象観測について, 公害と対策, 7, 3, 223-240
- (7) Bross, I.D.J. (1953) : Design for Decision, New York, The Macmilla Company, 276
- (8) Niemeyer, L.E. (1960) : Forecasting Air Pollution Potential, Month. Wea. Rev. 88, 88-96
- (9) Boettger, C.M. (1961) : Air Pollution Potential East of the Rocky Mountain, Fall 1959, Bull. Amer. Met. Soc. 42, 615-620
- (10) Boettger, C.M. and Smith, H.J. (1961) : The Nashville Dailly Air Pollution Forecast, Mon. Wea. Rev. 89, 477-481
- (11) Holzworth, G.C. (1962) : A Study of Air Pollution Potential for the Western United States, Jour. Applied Met. 1, 366-382
- (12) 原田朗 (1966) : 高濃度大気汚染の気象条件について, 天気, 13, 12, 417-426
- (13) Nakano, M., Naricawa, J. (1970) : Predictions of Air Pollution Potential in Osaka, Preprint of Workshop

of IFAC Kyoto Symposium

- (14) Goldstein, S. (1938): Modern Developements in Fluid Dynamics I, II, Oxford at Clarendon Press
- (15) Deacon, E. L. (1949): Vertical Diffusion in the Lowest Layers of the Atmosphere, Quart. J. Roy. Met. Soc., 75, 89-93
- (16) Monin, A. S., and Obukhov, A. M. (1954): Trudy Geof. Inst. Akad. Nauk. SSSR, 163-187
- (17) 大阪府企画部公害室 (1969): 大気汚染管理計画に関する研究報告書
- (18) Estoque, M. A. (1962): The Sea Breeze as a Function of the Prevailing Synoptic Situation, Jour. of the Atmos. Science, 19, 244-250
- (19) 高橋浩一郎 (1947): 外挿法に基く量的天気予報の研究, 研究速報 13, 14,
- (20) 葛西光明 (1970): 気温予想の作業と統計的手法について, 昭和45年電力気象春季札幌大会: 予報論文予稿
- (21) Howard, D., (1833): Climate Of London Deduced from Met. Observations 3rd Edition, London, Harvey and Darton
- (22) Duckworth, F. A. and Sandberg, J. S. (1954): The Effect of Cities upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients, Bull. Amer. Met. Soc., 35, 198-207
- (23) Krantzner, P. A., (1956): Das Stadtklima Die Wissenschaft Braunschweig Fiedr. Vieweg. I. Sohn, 90, 184
- (24) Bornstein, R. D. (1968): Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City, J. Applied

Met., 7, 575-582

- (25) Chandler, T.J. (1962): London's Urban Climate, Geograph. J., 127, 279-302
- (26) Myrup, L.O., (1967): Temperature and Vertical Velocity Fluctuations in Strong Convection, Q. J. Royal Met. Soc., 93
- (27) Dickson, R. R. (1961): Meteorological Factors Affecting Particulate Air Pollution of a City, Bull. Amer. Met. Soc., 42, 556-560
- (28) Williams, R. Jr. (1964): Air Pollution Potential over the Salt Lake Valley of Utah as Related to Stability and Wind Speed, J. Applied Met., 3, 92-97
- (29) Miller, M.E. (1964): Semi-objective Forecasting of Atmospheric Stagnation in the Western United States, Mon. Wea. Rev., 92, 23-32
- (30) Lucas, D.H. (1958): The Atmospheric Pollution of Cities, International J. of Air Pollution, 1, 71-86
- (31) Turner, D.B. (1964): A Diffusion Model for an Urban Area, J. Applied Met., 3,
- (32) Pooler, F. (1961): A Prediction Model of Mean Urban Pollution for Use with Standard Wind Roses, I. J. Air and Water Poll., 4,
- (33) Sutton, O.G. (1953): Micrometeorology, Mc Graw Hill, New York
- (34) Posler, C.R. (1961): Low Level Inversion Frequency in the Contiguous United States, Mon. Wea. Rev.,

89, 9, 319-339

- (35) Neiburger, M. (1959): Met. Aspects of Oxidation Type Air Poll. in the Atmos. and the Sea in Motion, The Rossby Memorial Vol., Rockefeller Institute Press and Oxford Univ. Press, New York, 158-169
- (36) Holzworth, G.C. (1964): Estimates of Mean Maximum Mixing Depths in the Contiguous United States, Month. Wea. Review, 92, 5, 235-242
- (37) Miller, M.E. (1967): Forecasting Afternoon Mixing Depth and Transport Wind Speed, Mon. Wea. Rev., 95
- (38) Miller, M.E. and Holzworth, G.C., (1967): An Atmos. Diffusion Model for Metropolitan Area, J. Air. Poll. Cont. Ass., 17, 1, 46-50
- (39) Holzworth, G.C. (1970): The Meteorological Potential for Community Air Pollution in the Contiguous United States, Preprint of 2nd International Clean Air Congress ME-20C
- (40) Robert, J.J., Croke, E.J. and Kennedy, A.S., (1969): An Urban Atmospheric Dispersion Model
- (41) Singer, I.A. and Smith, M.F., (1953): Relation of Gustiness to Other Meteorological Parameters, J. Met., 10, 121
- (42) Pasquill, F. (1961): Atmospheric Diffusion, D. Van Nostrand Company Ltd,
- (43) 近藤良夫, 舟阪渡編 (1967): 技術者のための統計的方法, 共立出版, 384

- (44) Hewson, E.W. et al (1967): Lake Effects in Air Poll Dispersion, J. Air Poll. Cont. Assoc., 17, 11, 757-761
- (45) 大阪府公害監視センター監視課(1970): 大阪の大気汚染状況と気象要素 (No.2), 3月, 33-37

第2編 都市域の局地の大気汚染濃度予測と制御

第 1 章 結 論

地上を移動する大気は太陽による直接加熱，地面との間の熱交換，放射，等による熱的不安定から生ずる自然対流と気圧差等による強制対流の組み合わせによって 3 次元的な複雑な流れをしている。数百 m から数 km のスケールに着目すれば，大気中汚染物質の輸送は巨視的にいって水平方向には主として空気の本体流れの支配を受け，上下方向には主として風速，気温分布によってきまる大気安定度の支配を受ける。

生活環境内の大気汚染濃度の予測を行なうとき，その濃度推定にまず必要な条件は次の 4 つの項目となる。

(i) 大気の乱流構造の解明，(ii) 大気の状態に作用する気象要因の予測，
(iii) 大気の構造を示すパラメーターと気象条件の関係，(iv) 汚染濃度推定のための数式モデルの作成と 大気構造を示すパラメーターの適用法，

この 4 つの項目の内 いずれが欠けても排出源との因果関係を明らかにした濃度の予測は実行不可能となる。

大気の構造の研究は理論と経験の両面から行なわれているが，理論はとくに地上数十 m 以下の大気の接地境界層に関して相似理論を基礎として進展してきた。それらは Monin と Obukhov (1)，Batchelor (2)，Kolmogorov (3)，Taylor (4,5)，Ellison (6)，Priestley (7)，そして Gifford (8,9) らの研究に負うところが多い。しかし煙突からでた煙による大気汚染濃度の推定や予測を行なうときに相似理論を利用することはまだ不適当である。その理由は (a) 理論が主に接地層内の大気の乱流構造に関するものであるので数百 m の上空の大気に利用できる確証がない。(b) 気象条件と理論との間がシステマティックに組み合わされていない。

そこで利用されるのは半経験的に得られている多くの数式モデルである (10, 11, 12)。とくに Pasquill (12) が提示した濃度を推定するための数式モデル

はもっとも一般的に利用されているが、これはそのモデルが一般的な気象条件から大気の構造を推定できる状態変数を持ち、それを使って簡単に濃度を推定できるという実用性による。これらの数式は気象条件や汚染物質の排出量が定常などときには平らな地表面で行なわれる野外拡散実験の観測結果からもその式中の係数を適当に定めれば現象と比較的よく一致することが認められている。これらの数式モデルは単一排出源と無限連続線排出源に対して適用されるが、Turner (13) が初めて米国ナッシュビル市の都市域の面的汚染濃度の推定に適用した。それ以来これらの解を基にした式が都市域の汚染濃度の計算にも応用されるようになった。

都市域内の汚染物質の伝播は従来からある定常拡散モデルをそのまま適用せず、種々の改良が加えられているが、これは都市域が持つ次のような大気汚染の特殊性による。

- a) 排出源の数が非常に多く、広い地域にわたって不規則に分布しており、また排出強度が時間によって異なる。
- b) 建物が乱立し地表面粗度が大きく、また暖房や日射によって局所的な気温の差が大きくなることがあるため、都市上空の空気の流動は田園地帯のそれとは異なる。

1960年代の後半になって都市拡散モデルがさかんに研究されるようになった。シカゴ市に適用されているパフモデル (14)、ニューヨーク市に適用されているモデル (15)、ロサンゼルス市に適用されている適応予測モデル (16) がその例にあげられる。

数式モデルの作成と平行して大気汚染濃度の推定と予測の方法もいろいろ試みられているが、それらはとつに大別して説明することができる。

(i) 決定論的方法： 結果とその原因が関係式で極めてよく表わせるため、その関係を確定的に利用する場合で、理論式（拡散方程式の解）、乱流拡散の統計理論による公式、経験式 および明白な関数関係を持たないが、カテゴリー分析、判別解析などの統計的な方法によって見つけられた法則を常に信用し、その関係

を不変とみなし使用する方法である。Pasquill (17) による大気安定度の分類をはじめ、シカゴ市 (14) ニューヨーク市 (15) ワシントンD.C. (18) など、多くの都市で行なわれ、また行なわれようとしている濃度予測のための計算法もこのカテゴリーに入る。

(ii) 適応論的方法： 理論的、経験的に因果関係が明らかになったときでも実際には独立変数を定量的に知ることができない場合や、定量的に知ることができてもその因子を構成する因子にいくつかの不確定成分を含む場合がある。そのようなとき決定論的な方法で現象を推定すると、推定値と実際の値との間に誤差を生ずる危険があるため、現在まで続いた不確定な部分の傾向を重視して将来を推定する方法である。これは第1編第2章概説で述べた傾向法、持続法、周期法を大気汚染濃度推定のための数式モデル自身やモデル式中のパラメーターの推定に適用することに相当する。適応論的方法を大気汚染濃度推定にとり入れた論文は本論文とロサンゼルス市の数式モデルに限られている。

メソスケールの気象とスモールスケールの気象現象と大気汚染のスケールについては第1編第1章でその関連性を論じたが、第2編では都市内の場所的な汚染濃度を推定するための数式モデルを完成し、第1編で得た広域の汚染物質浄化パラメーターを利用して、局地的な汚染濃度推定法を確立することにある。

第2章 大気拡散と安定度

第1節 概説

大気を媒体とする輸送拡散理論は、これまでに多くの研究者によって進展されてきた。Taylor (4) は初めて大気の乱れの影響を含めた拡散の問題を扱った。基礎となる式は流体中での物質、運動量、エネルギーの輸送を表わす方程式である。

$$\text{物質の流束: } D = \rho \overline{w' s'}$$

$$\text{摩擦応力: } \tau = -\rho \overline{w' u'} \quad 2-1$$

$$\text{熱流束: } H = C_p \rho \overline{w' T'}$$

ここで ρ は空気の密度であり、 C_p は空気の定圧比熱、 T は気温、 u, v, w は直角座標系で x, y, z 方向の風速成分を表わし、 x は水平な主風向、 y は水平面に平行で x に垂直、 z は鉛直上方向である。この約束は拡散式など以後にでるすべての問題に適用する。ダッシュは風速場が定常とみなされる期間での風の座標軸各成分の平均値からの偏りを示す。平均値には文字上に $(-)$ を付ける。

今水平方向には物理現象が一様であるとの大前提の下に鉛直方向のフラックスのみを取り上げるならば、各物理量の勾配をとって

$$\begin{aligned} D &= -K_D \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} \\ \tau &= \rho K_M \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \\ H &= C_p \rho K_H \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \end{aligned} \quad 2-2$$

で表わせる。 θ は温位で K_D, K_M, K_H は各々対象とする物質、運動量、顕熱の乱流拡散係数であり、乱流大気の混合強度を特定づける非常に重要な量である。

気層内の流体素分の乱れの発達する尺度として Richardson (19) はレイノル

ス応力のなす仕事と重力に対してなす仕事との大きさを比較することで表わした。
高さ z での単位体積当りの平均乱流エネルギーを $\rho \bar{E}(z, t)$ とすると、水平方向
に物理現象が一様な場合

$$\frac{\partial \bar{E}(z, t)}{\partial t} = K_M \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 - K_H \frac{g}{T} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad 2-3$$

ここで g は重力の加速度、 T は絶対温度である。右辺が正ならば乱れを起こす
ように働き、負ならば乱れを鎮めるように作用するので、 $K_H \approx K_M$ として 右辺第
1項と第2項の比によって乱れの発達を表わせるものとした。

$$\text{Richardson No.} = \frac{\frac{g}{T} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2} \quad 2-4$$

実際には風のプロファイルが十分正確に測定されなかったため、式 (2-4) の代りに
無次元安定度比 B が使われることがよくある。

$$B = \frac{g}{T} \frac{z^2}{U^2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad 2-5$$

Monin と Obukhov (1) は地表面から数十 m の接地気層を対象としたオイラ
ー相似による拡散理論を発表した。この中で彼らは Monin-Obukhov の長さ
と呼ぶ気層の安定度を示す尺度を示した。

$$L = - \frac{V_*^3}{\frac{\kappa g}{T_0} \frac{q}{C_p \rho}} \quad 2-6$$

ここで z_0 は粗度長さ、 V_* は $\sqrt{\tau_0 / \rho}$ で摩擦速度、 q は上方への熱流束、 T_0 は

z_0 での気温, C_p は定圧比熱, K はカルマン定数である。熱流束 q はほとんど測定されないので L の代りに

$$L' = \frac{K_H L}{K_M} = \frac{V_* \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) T}{K q \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)} \quad 2-7$$

を使うことが多い。熱流束が下方へ向いているならば, $q < 0$ で $L > 0$ となり安定成層を意味する。 $q > 0$ では $L < 0$ となり不安定成層の場合であり, $q = 0$, したがって $L = \infty$ ならば中立成層の場合となる。

大気汚染物質が空気中を伝播する場合, 煙はその流路である地表面から数百 m 上空までの範囲の境界層内の大気の構造に支配される。この大気の構造は主に風速, 気温, 大気乱流拡散係数, および渦のスケールを指すが, これらの研究は, Moninらの相似理論でも明らかなように 地表面から 上空50m あたりまでの接地境界層と呼ばれる範囲内でとくに地表面が平らな草原などの場合に限られており, 上空数百mの表面境界層に関する研究はあまり行なわれていないといっている。したがって表面境界層内の大気の構造の決定は 接地境界層の結果をそのまま上空へ延長して利用する場合が多い。

大気安定度の評価は, 気温分布, 風速分布を求めなくても行ない得る。

Pasquill(12)の安定度分類方法によると 地上 10mにおける風速と雲量, 日射量の予測で混合拡散パラメーターが決定され, 汚染濃度の定常拡散式による推定が可能となる。彼の日射量, 雲量から大気安定度を推定することとは, 接地層付近の平均的な安定度を評価することを意味している。

Islitzer(20)や Singerと Frizzola(21)によると, 気温分布が減率であるか逆転であるかを判定すること, および風速の予測が濃度計算に必要な入力となる。Martinと Berber(22)の安定度評価によると 3つの区間に区切った平均的な鉛直気温勾配の予測を行なうことが必要である。

乱流混合拡散係数の推定は 大気的全境界層内の平均的な値を求める場合(23,

24, 25) と、地表面から鉛直方向に詳細に分布を求める場合 (26, 27, 28, 29, 30, 31, 32) との 2 つの方向の研究がなされている。後者の場合 地表面から上空 50m あたりまでの接地境界層内を対象としており接地境界層より範囲が広い表面境界層の研究はソ連での実験例を除くと これまでにあまり行なわれていないといっている。したがって大気汚染濃度の推定に接地層内の理論を応用するには限界がある。

第2節 実用を目的とした風速分布と大気混合度

2-1 風速分布と気温分布

Deacon (33) は 経験的に風速分布の指数法則を導いた。一方 Monin (1) は対数分布法則を理論的に誘導した。対数法則は地表面近く 接地境界層の領域に当てはまるが、指数法則は接地境界層よりも広い領域に適用される。指数分布法則は式 (2-8) で表わされる。

$$u(z) = u(z_0) \left(\frac{z}{z_0} \right)^B \quad 2-8$$

ここで $u(z)$ は地表面からの高さが z の点の風速である。風速の鉛直分布は気温分布と地表面粗度の影響を受けるが、指数分布法則の式では係数 B が適当に変化する。Munn と Richard (34) の研究では カナダのダグラスポイントで得られた観測データによって夏期には 1 日の間に B が 0.2 から 0.7 の間を変動するという結果を得ている。

わが国では地上数百 m の以下の風速分布が毎時観測されている所はほとんど無く、1968 年頃まで東京タワーが唯一の観測地点であった。そこで都市域での風速鉛直分布と気温分布の関係を見つけるため、東京タワーの 1967 年 1 月から 3 月までの観測データを利用して分析を行なった。分析の方法は気温勾配を Table 2-1 のように区分し、各区分内に地表から 250m の高度までの気温プロファイルの

90%以上が含まれるときの風速プロファイルを風速を横軸に地上からの高度を縦軸にして両対数紙にプロットした。各グループごとに類似した勾配の直線群が Fig. 2-1 のように得られた。各グループの勾配の平均を求め平均勾配と気温勾配の関係を求めると Fig. 2-2 となった。同図で×印は Frost (35) が野外実験で得た値である。Frost による値は筆者の結果と比べて小さい値をとる傾向があるが、彼の結果は平らな草原によったものであり、筆者の結果は建物の密集した都市域のものであり、場所の相異がプロファイルの違いを生じたものと思われる。Fig. 2-2 から指数 β は温度勾配との間に式(2-9)のような関数を得た。

$$\beta = 0.7 - 0.52 \exp[-1.23(20.0 \frac{dT}{dz} + 1.0)^6] \quad 2-9$$

2-2 鉛直方向混合拡散係数

汚染源が面的に分布しているとき、水平方向よりも鉛直方向の拡散が汚染に関して重要な要素となる。そこで鉛直方向の混合拡散係数のみを考える。この係数は、式(2-1,2), Priestley (36), Blackadar (27) の式をまとめると、

$$K_D = \kappa^2 z^2 (1 - \alpha Ri)^m \frac{du}{dz} \quad 2-10$$

で与えられる。山本 (37) は同様に K_D を次式で表わせるとしている。

Table 2-1 Classification of Temperature Gradient

$0.0065 \leq dT/dz$	(°C/m)
$0.0 \leq dT/dz < 0.0065$	
$-0.0065 \leq dT/dz < 0.0$	
$-0.0098 \leq dT/dz < -0.0065$	
$dT/dz < -0.0098$	

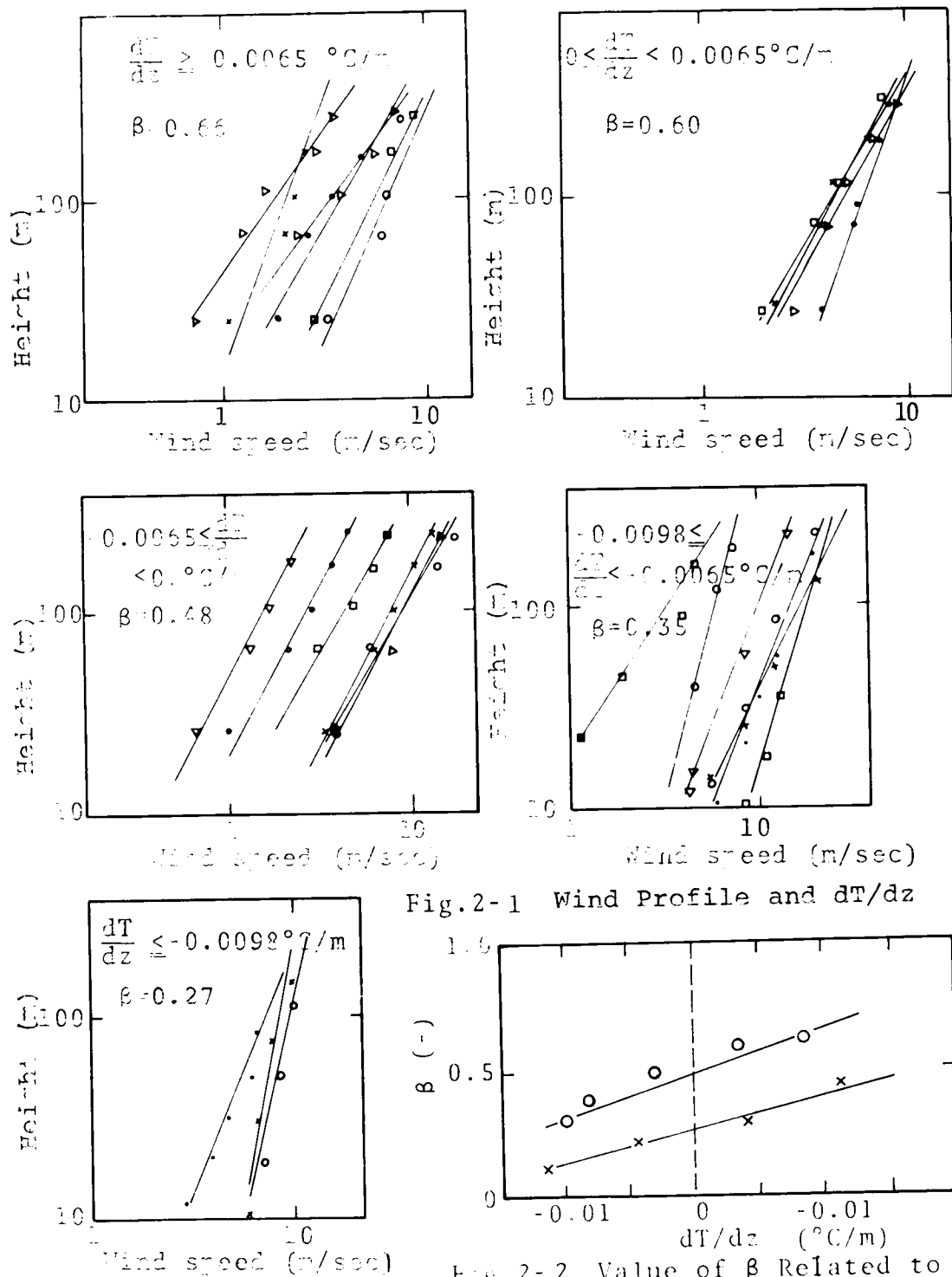


Fig.2-1 Wind Profile and dT/dz

Fig.2-2 Value of β Related to dT/dz

$$K_D = \kappa^2 z^2 (1 - \sigma Ri)^{1/2} \left(\frac{du}{dz} \right) \quad 2-11$$

そこで κ は Karman の定数, α, m, σ はそれぞれ定数である。

実際の都市上空の混合拡散係数を求めるために, 物質の混合拡散係数が温度伝導係数との相似性を仮定して, 東京タワーで得られた気温分布から次のような方法によって温度伝導係数を求めた。

K_H はある高さの区間内で変化しないものとする。1次元の熱伝導方程式は次のように差分形式に分解される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= \frac{T_{i+1,m} - 2T_{i,m} + T_{i-1,m}}{\Delta z^2} = Td1 \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\Delta T_m}{\Delta t} = Td2 \\ \longrightarrow K_H &= \frac{Td2}{Td1} \end{aligned} \quad 2-12$$

大気の温度伝導係数は乱流混合による温度伝導係数 K_M と輻射による温度伝導係数 K_R の和となる。

$$K_H = K_R + K_M$$

輻射による温度伝導係数 K_R については Brunt (28) によって理論展開され, 水蒸気圧 5mb, 275°K の場合, $K_R = 0.13 \text{ m}^2/\text{s}$ なる値が得られている。分子拡散による温度伝導係数は常温, 常圧で約 $0.2 \text{ cm}^2/\text{s}$ であり乱流拡散係数の大きさに比して無視できる。

東京タワーの気温分布から式 (2-12) によって K_H を推定し, それから K_R を差し引いた値を Table 2-A-1 に示す。風速の鉛直分布式 (2-8) と式 (2-9) から各 K_M を求めた時点の風速分布を求めると $K_M / (z^2 du/dz)$ が得られる。

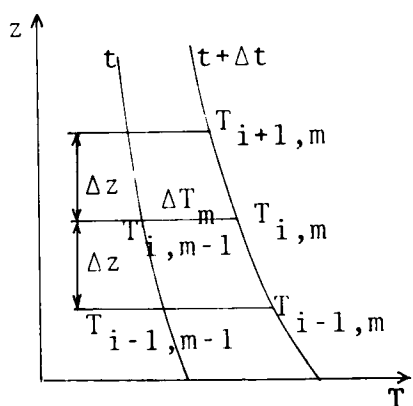


Fig. 2-3 Grid Point of Temperature Profile

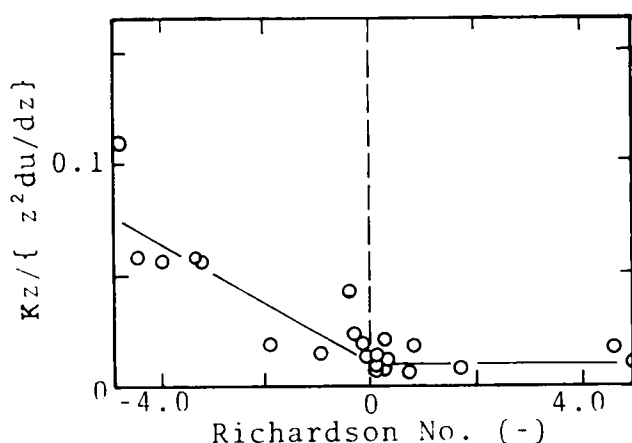


Fig. 2-4 Relation between $Kz/\{z^2 \frac{du}{dz}\}$ and Richardson Number

$Kz/(z^2 \frac{du}{dz})$ の値を縦軸にリチャードソン数を横軸にとってプロットしたのが Fig. 2-4 である。同図ではデータの数がないため、その関係の信頼性は高くないが次式が得られた。

$$K_M = (\alpha_1 - \alpha_2 Ri) z^2 \frac{du}{dz} \quad \begin{cases} \alpha_1 = 0.0104 & \alpha_2 = 0.0 & \text{at } Ri \geq 0 \\ \alpha_1 = 0.0104 & \alpha_2 = 0.0162 & \text{at } Ri < 0 \end{cases}$$

2-13

第3節 要約

接地境界層より範囲が広い上空数百mまでの表面境界層と呼ばれる層内の構造に関する研究はあまり行なわれていない。この研究が進まない原因は、その層の大気の状態の実測が簡単にできず、データが得難いことと、気象学上そのような高度の研究に興味を持たれなかったことによる。大気汚染濃度の推定にはこのような層の状態を知ることが必要なため、本章でとくに東京タワーで地上から300mの区間で実測された気温と風速のデータを使って従来得られている成果、(35)を参考に風の鉛直分布、温度伝導係数の分布を行なった。その結果、
(i) 大都市の上空200-300m以下の風速プロファイルに指数分布法則が当てはまることが認められた。とくに草原での地上近くの風速プロファイルの実測によ

って、これまでに認められてきた指数の値は大気安定度が中立のとき、およそ 0.25であったが、東京タワーの観測結果では、ほぼ 0.35を得ており、安定なときも含めて 相対的に大きな値をとることがわかった。このような結果は東京のように建物による地表面粗度の大きな都市での特徴ではなかろうかと考えられる。

(ii) 気温分布の時間的变化から、そのときの鉛直方向の乱流混合拡散係数を求め、風速とリチャードソン数との関係を求めた。混合拡散係数の値は $1-10 \text{ m}^2/\text{sec}$ であり、これまでに多くの人が求めている値と類似している。ただしデータの解析は次の仮定と方法に従った。

a) 温度伝導係数と物質の拡散係数に相似則が成り立つ

b) リチャードソン数を求めるための風速と気温の鉛直勾配は、求める高度の $\pm 50\text{m}$ の高さでの風速と気温データから求めた平均勾配の値を使う。なお気温分布は移流による空気本体の入れかわりがないようなときを選んだ。

大阪地方では鉛直方向の気温と風速が測定されていない。したがってこれまでに得られている大気の状態を求める経験式の検証を行なうことができない。

記 号 表

B	: リチャードソン数の代りの無次元安定度比 (ボーエン比)	(-)
C_p	: ガスの定圧比熱	(kcal/°C/kg)
D	: 物質の流束	($g^2/m/sec$)
$E(z, t)$: 単位質量がもつ平均乱流エネルギー	(qm^2/sec^2)
g	: 重力の加速度	(m/sec^2)
H	: 熱流束	($cal/m^2/sec$)
K_D	: 鉛直方向の物質の乱流拡散係数	(m^2/sec)
K_H	: 鉛直方向の顕熱の乱流拡散係数	(m^2/sec)
K_M	: 鉛直方向の運動量の乱流拡散係数	(m^2/sec)
L	: モンロー・オフクホフの長さ	(m)
L'	: L を簡略化した安定度を示す尺度	(m)
q	: 上方への熱流束	($cal/m^2/sec$)
\bar{s}	: 物質の平均濃度	(q/m^3)
s'	: 物質の平均濃度からの変動量	(q/m^3)
T	: 気温	(°C)
T'	: 気温の平均値からの変動量	(°C)
T_0	: z_0 点での気温	(°C)
t	: 時間	(sec)
U	: x 軸方向の流体速度のある高さ区間の平均値	(m/sec)
\bar{u}	: x 軸方向の流体速度の時間平均値	(m/sec)
u'	: \bar{u} からの変動量	(m/sec)
V^*	: 摩擦速度	(m/sec)
w	: 鉛直方向の流体の流速	(m/sec)
w'	: \bar{w} からの変動量	(m/sec)

z	: 鉛直方向の座標軸	(m)
z_0	: 粗度長さ	(m)
α_1	: 式 (2-13) の係数	(-)
α_2	: 式 (2-13) の係数	(-)
β	: 風速分布のべき法則式の指数で気温プロファイルによって変動する。	(-)
θ	: 地表からの高さ z での温位	(°C)
θ_0	: 地表からの高さ z_0 での温位	(°C)
κ	: カルマンの定数	(-)
π	: 円周率	(radian)
ρ	: 空気の密度	g/m^3
$\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$	風速の乱れ (u', v', w') の標準偏差	(m/sec)
τ	: 摩擦応力	(g/m/sec^2)

第3章 大気汚染物質輸送モデル

第1節 概説

大気汚染物質の大気中の伝播を表す数式モデルは次のような研究に立脚している。

煙流モデルについては、(i)輸送理論によって拡散方程式の解を求める。これはK理論と呼ばれ、Monin(1)やPanofsky(40)、Bosanquet and Pearson(10)などの研究がこれにあたる。(ii)乱流拡散を統計理論によって公式化する方法でKolmogorov(41)やSutton(11)などの拡散理論がこれにあたる。

煙の有効煙突高度の推定については(iii)理論的に導びいた排出速度によるものと、浮力によるものの和、ないしはそれらの2つの現象を実験によって1つにまとめた実験式が求られている。Bosanquetら(42)、Priestley(43)の式が前者に属し、Holland(44)、Lucas, Moore(45)の式が後者に属す。

煙流モデルについての研究の推移はFig.2-5に示す。拡散理論による解はRoberts(46)が初めて解いたが、それ以来Bosanquet、坂上(49)、Panofsky(40)ら多くの研究者が特定の大気の状態の下で拡散公式を誘導している。また都市域の短時間の汚染濃度の推定にTurner(13)が初めて拡散公式を適用した。

排出源から出た大気汚染物質の伝播媒体である大気は地表以外に境界を持たない半オープンシステムであり、またその混合拡散を支配する気象現象は非定常であるため、伝播過程の諸現象を1つの数式モデルで表現することは不可能である。したがってモデルのあり方として、数式モデルが簡単であること、現象をうまく表現することのために、必ずしも数式モデルを1つに限定せず、対象とする時間的、空間的スケール、または現象に応じた幾つかの数式モデルを作り、それらを組み合わせることが行なわれる。煙突から出た煙の流れを排出直後の煙の上昇と

しばらくしてから水平方向への伝播に式を分けて計算することはその典型的な例である。

本章では従来定式化されている拡散伝播過程を表わす数式モデルを述べ、続いて都市の局地域汚染濃度計算のための数式モデルを提示する。

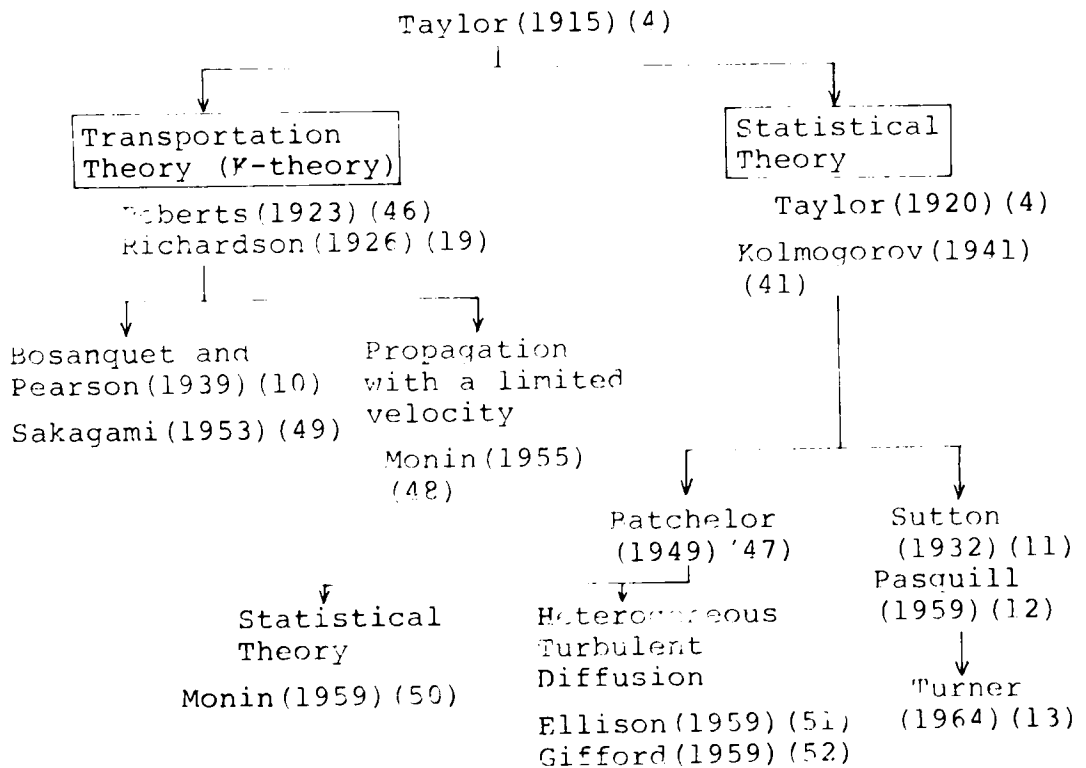


Fig.2-5 Transition of Diffusion Theory (79)

第2節 従来の研究

2-1 拡散方程式の解

2-1-1 煙の広がり、ガウス分布を仮定した式

従来の諸拡散公式は Pick の第2法則を基礎として解かれたものである。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_D \nabla^2 C$$

3-1

これを直角座標 (x, y, z) 系で表わすと式(3-2)となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad 3-2$$

ここで K_D は拡散係数 (m^2/sec) であり, C は拡散する物質の濃度, t は時間を表わす。

静止流体中の物体の拡散は Roberts (46) が次のように解いた。

$$C(x, y, z, t) = \frac{1}{8(\pi K_D t)^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} C_0(x', y', z') \times \exp\left\{-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}{4K_D t}\right\} dv' \quad 3-3$$

ここで, (x', y', z') は単位量の物質の放出源の位置である。
である。仮に C が 1つの座標 x のみの関数であるものとする, y および z について式(3-3)を積分することゝできる。

$$C(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi K_D t}} \int_{-\infty}^{\infty} C_0(x') \times \exp\left\{-\frac{(x-x')^2}{4K_D t}\right\} dx' \quad 3-4$$

$t=0$ でかつ $x=0$ のとき拡散物質の濃度は $C_0(0)=M \times \delta(x)$, ここで M は一定値, $\delta(x)$ はクロネッカーのデルタである。式(3-4)を x' で積分し x' を 0でおきかえると

$$C(x, t) = \text{const} \times \frac{1}{2\sqrt{\pi K_D t}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4K_D t}\right) \quad 3-5$$

と同じ操作を y, z についても行なうことができる。

拡散係数が方向によって異なるとき (x, y, z) 方向のそれらを (K_x, K_y, K_z) とすると, 直角座標で瞬間に単位量の汚染物質が 1点から排出されるとき, t 時

間後のその煙の分布は

$$C(x, y, z, t) = \frac{1}{8(\pi t)^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp\left(-\frac{x^2}{4K_x t} - \frac{y^2}{4K_y t} - \frac{z^2}{4K_z t}\right) \quad 3-6$$

Q は単位時間当りの排出量として、一定の風速 u で汚染物質が動くとき、原点から測定した風下での t 時間後の煙の分布は、その点源が連続源のとき $\partial C / \partial x = 0$ 、 $x = u \cdot t$ として

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{K_y K_z}} \exp\left(-\frac{u y^2}{4K_y x} - \frac{u z^2}{4K_z x}\right) \quad 3-7$$

となる。Taylor(4)の提示した混合拡散係数と大気中粒子の分散の標準偏差との関係は次式で示される。

$$\frac{1}{2} \frac{d\sigma_x^2}{dt} = K_x, \quad \frac{1}{2} \frac{d\sigma_y^2}{dt} = K_y, \quad \frac{1}{2} \frac{d\sigma_z^2}{dt} = K_z \quad 3-8$$

式(3-7)に式(3-8)を代入すると次のような関係式を得る。

$$\text{瞬間点汚染源: } \frac{C(x, y, z)}{Q} = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad 3-9$$

$$\text{連続点汚染源: } \frac{C(x, y, z)}{Q} = \frac{1}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right), \quad 3-10$$

風向に垂直水平な無限連続線汚染源に対しては

$$\frac{C(x, z)}{Q_L} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} u \sigma_z} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad 3-11$$

地表面上に排出源があり，地表で完全に汚染物質が反射するものとすれば，式(3-9, 10, 11)をそれぞれ2倍せねばならない。

濃度分布に地形の影響を考慮した式は，定常拡散方程式の解を変形することによって与えられる。また排出源，大気の状態が特殊な場合も変形して簡単化される。

(a) 谷間

σ_y が谷の中に比べて十分大きくなったとき，濃度は谷の間で均一となるものと仮定される。そこで谷の中を L とするとその谷間の濃度は

$$C(x, y, 0, h) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{\sigma_z L u} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad 3-12$$

(b) 線源

無限連続線源が風向と直角にあるとき，ある距離 x, z での濃度は y 方向に関係しなくなる。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy = 1 \quad 3-13$$

したがって

$$C(x, y, 0, h) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_L}{\sigma_z u} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad 3-14$$

となる。ここで Q_L は単位時間単位長さ当りの排出量である。

逆転層の厚が D_m m上空に存在し，拡散物質をそれから上へ輸送せずその層内で大気がよく混合する場合は，(a)と同様の考え方を z 方向の濃度にもあてはめることが可能となる。

$$C(x, y, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{\sigma_y D_m u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad 3-15$$

Fickの方程式は他にも種々の境界条件，関数形を仮定することによって解かれている。Calder(53), Deacon(54) の解がそれに数えられる。

2-1-2 Suttonの拡散公式

Sutton(55) はラグランジ相関関数 $R(\xi)$ の近似式として次式を示した。

$$R(\xi) = \left(\frac{V \star z_0}{V \star z_0 + \bar{u}^2 \xi} \right)^n \quad 3-16$$

大気中粒子分散の標準偏差 σ_x と $R(\xi)$ の関係は式(3-17)である。

$$\sigma_x^2 = 2\bar{u}^2 \int_0^{t_L} \int_0^t R(\xi) d\xi dt \quad 3-17$$

十分大きな t_L の値に対しては 式(3-16) を式(3-17) に代入すると

$$\sigma_x^2 = \frac{2(V \star z_0)^n}{(1-n)(2-n)\bar{u}^2} (\bar{u}^2 t_L)^{2-n} \quad 3-18$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{2} (\bar{u} t_L)^{2-n} C_x^2 \quad 3-19$$

ここで C_x^2 は

$$C_x^2 = \frac{4(V \star z_0)^n}{(1-n)(2-n)\bar{u}^n} - \left(\frac{\bar{u}^2}{\bar{u}} \right)^{1-n} \quad 3-20$$

式(3-19)と同様の式が σ_z , σ_y についても成り立つ。等方性の拡散場を仮定すると $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$, $C_x = C_y = C_z$ となる。式(3-19)は粒子雲が原点からの距離のあるべき乗で増加することを示している。

ブラウン運動による拡散は分散を σ^2 , 拡散係数を K_m とすると,

$$\sigma^2 = 2K_m t \quad 3-21$$

この理論を煙の乱流拡散に拡張すると式(3-19)と式(3-21)が等しいので

$$2K_D t = \frac{1}{2} (\bar{u} t_L)^{2-n} C_x^2 \quad 3-22$$

ここで C_x は一般化された拡散係数で風速に関連している。 n はある量, $\bar{u} t_L$ は排出源よりの風下距離を示す。等方性乱流でないときには,

$$\begin{aligned} K_x t &= \frac{1}{4} x^{2-n} C_x^2 \\ K_y t &= \frac{1}{4} x^{2-n} C_y^2 \\ K_z t &= \frac{1}{4} x^{2-n} C_z^2 \end{aligned} \quad 3-23$$

Roberts の式 (3-7) に式 (3-23) を代入すると

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \bar{u} x^{2-n} C_y C_z} \exp\left(-\frac{y^2}{C_y^2 x^{2-n}} - \frac{z^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) \quad 3-24$$

これは Sutton の公式である。Sutton は n が風の速度プロファイルから決定されるものと仮定した。すなわち

$$u(z) = \bar{u}_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^{\frac{n}{2-n}}$$

彼は比較的平らな芝生の上で気温が中立状態で n, C_y, C_z の値は $n = \frac{1}{4}$, $C_y = 0.21, C_z = 0.12$ であるとしている。

2-2 相似理論を基礎とした渦拡散

2-2-1 オイラー相似による渦拡散

大気中の粒子の混合拡散係数 K_D は Taylor(4) によって式 (3-8) で表わされた。Batchelor(2) は式 (3-25) でこれを与えた。

$$K_D = \overline{w'^2} \frac{1}{2} l_z \quad 3-25$$

ここで $\overline{w'^2}$ は鉛直方向の風速の微小振動から求めた風速の乱れを表わす分散で σ_w^2 とも表わす。 l_z は乱れのスケールを表わす。式 (3-8) と式 (3-25), $\sigma_z = z$ から

$$\frac{1}{2} \frac{dz^2}{dt} = l_z \sigma_w \quad 3-26$$

Monin(48) は煙の上端にある煙の粒子の位置 (X, Z) とその運動が式 (3-27, 28) で表わせるものとした。

$$\frac{dX}{dt} = U(Z) \quad 3-27$$

$$\frac{dZ}{dt} = w^* \quad 3-28$$

ここで w^* は煙粒子が上方へ拡散する最大速度を意味し, $w^* = \lambda V_* \phi_w(\zeta)$ で表わされる。 $\zeta = z/L$ である。

式 (3-27) と式 (3-26) から

$$\frac{dZ}{dX} = \frac{l_z \sigma_w}{U(Z) \times Z} \quad 3-29$$

l_z は $\kappa z \phi(\zeta)$ に等しいので w_* は σ_w に比例する。 $w_* = \sigma_w \kappa \phi$ のとき Monin の公式と Taylor の公式が一致する。 エネルギー逸散率はそのエネルギーの平衡を考慮した次式で表わされる。

$$\epsilon = -\overline{u'w'} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{g}{T_0} \overline{w'T'} - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w'E} + \frac{1}{\rho} \overline{P'E'}) \quad 3-31$$

右辺第1項は乱流エネルギーの運動エネルギーからの供給を表わし、第2項は浮力による乱流エネルギーの供給を、第3項は乱流エネルギーの拡散を表わす。

$V_*^2 = K_M \partial u / \partial z$, $\epsilon \doteq \overline{w'^2}^{3/2} / l_z$ と式(3-31)の第3項を0とした式および式(3-25)から

$$\frac{w_*}{V_*} \propto 1 - \alpha Ri$$

$$\phi_w(\zeta) = (1 - \alpha Ri)^{1/4} = [1 - \{f'(\zeta)\}^{-1}]^{1/4} \quad 3-32$$

オイラー相似による Monin らの拡散理論式から

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{V_*}{\kappa z} \phi_M(\zeta) \quad \text{or} \quad U = \frac{V_*}{\kappa} \{f(\zeta) - f(\frac{z_0}{L})\} \quad 3-33$$

ここで z_0 は粗度長さ、式(3-32)と $w_* = \lambda V_* \phi_w(\zeta)$ および式(3-33)から

$$\frac{dx}{dz} = \frac{1}{\kappa \lambda \phi_w(\zeta)} \{f(\zeta) - f(\zeta_0)\} = \frac{1}{\kappa \lambda} \times \frac{f(\zeta) - f(\zeta_0)}{\{1 - 1/f'(\zeta)\}^{1/4}} \quad 3-34$$

これがオイラー相似による煙の形を与える式である。次に式(3-34)を簡単な形にする。式(3-33)から $\phi_M(\zeta) = \zeta f'(\zeta)$ であるので式(3-26)は次のように書き変えることができる。

$$\frac{1}{2} \frac{dz^2}{dt} = K_D \approx K_M = \frac{V_*^2}{\frac{\partial u}{\partial z}} = \frac{V_*^2}{\frac{V_*}{\kappa z} \phi_M(\zeta)} = \frac{\kappa z V_*}{\zeta f'(\zeta)}$$

したがって

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\kappa V_{*}}{zf'(\zeta)} \quad 3-35$$

式(3-27), 式(3-35) から

$$\frac{dx}{dz} = \frac{Uzf'(\zeta)}{\kappa V_{*}}$$

式(3-33) と上式から V_{*} を消去すると,

$$\frac{dx}{dz} \approx \frac{\{f(\zeta) - f(\zeta_0)\} \zeta f'(\zeta)}{\kappa^2} \quad 3-36$$

したがって

$$\frac{\kappa^2 x}{L} \approx \int_{\zeta_0}^{\zeta} \zeta f'(\zeta) \{f(\zeta) - f(\zeta_0)\} d\zeta \quad 3-37$$

不安定成層における安定度区分の $f(\zeta)$ は Table 2-2 で与えられており, この $f(\zeta)$ を式(3-37) に当てはめると,

$$\begin{aligned} 0.03 \geq |\zeta| \geq |\zeta_0| = \text{const} &: \frac{\kappa^2 x}{L} \approx |\zeta| - |\zeta_0| \\ 5 \geq |\zeta| \geq 0.03 &: \frac{\kappa^2 x}{L} \approx |\zeta|^{1/3} - 0.03^{1/3} \\ |\zeta| \geq 5 &: \frac{\kappa^2 x}{L} \approx 5^{-1} - |\zeta|^{-1} \end{aligned} \quad 3-38$$

したがって煙の拡がりの標準偏差 σ_z は

$$\text{強制対流領域;} \quad \sigma_z \propto x$$

$$\text{混合対流領域;} \quad \sigma_z \propto x^3$$

自由対流領域；

激しく上方へまきちらされる，

一方安定成層における煙の拡散は

$$\frac{\sigma_z}{L} \propto \left(\frac{\kappa^2 X}{L}\right)^{1-0.7} \quad 2 > \frac{\kappa^2 X}{L}$$

$$\frac{\sigma_z}{L} \propto \left(\frac{\kappa^2 X}{L}\right)^{0.5} \quad 30 > \frac{\kappa^2 X}{L} > 2 \quad 3-39$$

$$\frac{\sigma_z}{L} \propto \left(\frac{\kappa^2 X}{L}\right)^{0.3} \quad \frac{\kappa^2 X}{L} > 30$$

Monin は高さとともに変化する拡散物質の濃度分布を決定するため，放物線形偏微分方程式の利用を提案した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad 3-40$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + 2aF = -w^* \frac{\partial (w^* C)}{\partial z} \approx -w^* \frac{\partial C}{\partial z}$$

ここで F は $-K_D \partial C / \partial z$ であり， a は $V_* / z \phi_M(\zeta)$ で表わされる乱れの頻度である。

式 (3-40) の解析解を y 方向への拡散がなく，境界条件として $z=0$ で

$K_D \partial C / \partial z = 0$ とおいて解くと

$$C(z, t) = \frac{Q}{\kappa V_*} \frac{\left(1 - \frac{z}{\lambda V_* t}\right)^{\varepsilon-1}}{\left(1 + \frac{z}{\lambda V_* t}\right)^{\varepsilon+1}} \quad 3-41$$

ここで $0 \leq z \leq \lambda V_* t$ ， $\varepsilon = \lambda / 2 / \kappa \geq 1$ で $z/L=0$ のとき， $\lambda = w^* / V_*$ である。

風向に垂直な固定の連続線源であれば， y 方向の混合と高さによる風速の変化とを無視し次式を得る。

Table 2-2 Relation between Turbulent Scale, Universal Function and Eddy Diffusivity of Momentum

Turbulent Range	Range of ζ	$f(\zeta)$	$\Phi = \lambda_z / \kappa z$	K_M
Forced Convection Range	$0 < \zeta \leq 0.03$	$\lambda \kappa \zeta + \beta \zeta$ (1)	$1 + \beta \zeta $	$\frac{\kappa z V_*}{1 + \beta \zeta}$
Mixed Convection Range	$5 \geq \zeta > 0.03$	$C_2 \zeta^{-1/3}$ (2)	$\frac{3 \zeta ^{1/3}}{C_2 (1 + \frac{3}{C_2} \zeta^{4/3})^{1/4}}$	$3 \kappa z V_* \zeta $
Free Convection Range	$ \zeta > 5$	$C_3 \zeta^{-1}$ (3)	$\frac{ \zeta }{C_3 (1 + \frac{1}{C_3} \zeta^2)^{1/4}}$	$\kappa z V_* \zeta $

$\beta = 6$ by Taylor (63)

$C_2 = 1.3$ by Taylor (63)

$C_2 = 0.94$ by Priestley (64) and Townsend (65)

$$C(x, z) = \frac{Q}{\kappa V_* x} \times \frac{(1 - \frac{z}{\lambda V_* t})^{\varepsilon-1}}{(1 + \frac{z}{\lambda V_* t})^{\varepsilon+1}} \quad 0 \leq z \leq \frac{\bar{u}}{\lambda V_*} x \quad 3-42$$

2-2-2 ラグランジ相似による渦拡散

Monin(1) はオイラー相似による理論を基礎としていたが, Batchelor (47) は Monin の理論を ラグランジ相似による理論へ発展させた。時刻 $t=0$ に放出点を離れた流体粒子が放出点を原点として平均位置 $\bar{X}(t), \bar{Y}(t), \bar{Z}(t)$ へ移動したものとする。

$$\frac{d\bar{X}(t)}{dt} = \bar{U}(\bar{Z}(t)) = \frac{V_*}{\kappa} [f_1(\frac{\bar{Z}(t)}{L}) - f_1(\frac{Z_0}{L})] \quad 3-43$$

$$\frac{d\bar{Z}(t)}{dt} = \bar{W}(\bar{Z}(t)) = bV_* f_2(\frac{\bar{Z}(t)}{L}) \quad 3-44$$

b は Batchelor の定数といわれる。 f_1 および f_2 は普遍関数である。

平均値からの個々の粒子の微小振動を $X'(t) = X(t) - \bar{X}(t), Y'(t) = Y(t) - \bar{Y}(t), Z'(t) = Z(t) - \bar{Z}(t)$ とすると, 粒子の確率分布はラグランジ相似仮説によって

$$P(X', Y', Z', t) = \frac{1}{\bar{Z}^3} f_3(\frac{X'}{\bar{Z}(t)}, \frac{Y'}{\bar{Z}(t)}, \frac{Z'}{\bar{Z}(t)}, \frac{\bar{Z}(t)}{L}) \quad 3-45$$

ここに f_3 は普遍関数, ただし t は煙の放出高度 H が 拡散運動に影響を与えない値, すなわち $t > H/V_*$ である。

ある時刻 t に (X, Y, Z) 点近くの拡散粒子の濃度分布は, 時間 $0 - \infty$ の区間で上の式を積分し, 点源の単位時間当りの排出量を Q とすると,

$$C_p(X, Y, Z) = Q \int_0^{\infty} \frac{1}{\bar{Z}(t)^3} f_3\left(\frac{X'}{\bar{Z}}, \frac{Y'}{\bar{Z}}, \frac{Z'}{\bar{Z}}\right) dt \quad 3-46$$

式 (3-35) から

$$C_p(X, Y, Z) = \frac{Q}{bV_*} \int_0^{\infty} f_2^{-1}\left(\frac{\bar{Z}(t)}{L}\right) \times f_3\left(\frac{X'}{\bar{Z}}, \frac{Y'}{\bar{Z}}, \frac{Z'}{\bar{Z}}\right) \frac{d\bar{Z}(t)}{\bar{Z}^3} \quad 3-47$$

瞬間点源であるならば点源を Q_{ip} とすると、

$$C_{ip}(X, Y, Z) = \frac{Q_{ip}}{bV_*} f_3\left(\frac{X'}{\bar{Z}}, \frac{Y'}{\bar{Z}}, \frac{Z'}{\bar{Z}}\right) \quad 3-48$$

連続点源であるならば点源を Q_{cp} とすると

$$C_{cp}(X, Y, Z) = \frac{Q_{cp}}{bV_*} \int_0^{\infty} f_3\left(\frac{X'}{\bar{Z}}, \frac{Y'}{\bar{Z}}, \frac{Z'}{\bar{Z}}\right) f_2^{-1} \frac{d\bar{Z}}{\bar{Z}^3} \quad 3-49$$

今平均位置 \bar{X} は流体粒子が集中していれば、 $X' \approx 0$ となり、式 (3-37) は \bar{X} の近くで鋭い最大値を持つ確率分布となる。 \bar{X} と \bar{Z} の関係は式 (3-34, 35) から

$$\frac{d\bar{X}}{d\bar{Z}} = \frac{f_1(\bar{Z}) - f_1(\zeta_0)}{b\kappa f_2(\bar{Z})} \quad 3-50$$

となり、 \bar{X} は \bar{Z} に比例するので式 (3-45) から地上濃度は次のように書き変えられる。

$$C_{cp}(X, 0, 0) = \frac{Q\kappa}{V_*} \times \frac{\bar{X}}{\{f_1(\bar{Z}) - f_1(\zeta_0)\} \bar{Z}^3} \quad 3-51$$

$$\begin{aligned} &\propto \frac{Q\kappa}{\bar{Z}^2 V_* \{f_1(\bar{Z}) - f_1(\zeta_0)\}} \\ &= Q / \{\bar{Z}^2 U(\frac{\bar{Z}}{L})\} \end{aligned} \quad 3-52$$

これが \bar{X} なる風下での地上濃度を示す。式 (3-29) に式 (3-33) および Monin が示した次式 (3-53) を代入し積分すると式 (3-54) となる。

$$\frac{\sigma_w}{V_*} = \left\{ 1 - \frac{1}{f'(\bar{z}/L)} \right\}^{1/4} \quad 3-53$$

$$\frac{b\kappa\bar{X}}{L} = \int_{\zeta_0}^{\zeta} \frac{f(\zeta) - f(\zeta_0)}{\{1 - 1/f'(\zeta)\}^{1/4}} d\zeta \quad 3-54$$

中立成層のときは

$$C_{cp}(x, 0, 0) = \frac{Q_{cp}}{bV_*\bar{z}^2(\bar{X}/\bar{z} - 1/\kappa/b)} \quad 3-55$$

$$\bar{X} = \frac{1}{\kappa b} \bar{z} \left(\ln \frac{\bar{z}}{\bar{z}_0} - 1 \right) \quad 3-56$$

Batchelor は $b=0.1-0.2$ であるとし, Ellison は $b=0.4$ であるといっている。

2-3 拡散公式と拡散パラメーター

大気中の粒子や気体の拡散に関する理論的な公式の誘導は前小節で述べたが、その他にも多くの研究者によって諸公式が示されている。これらの公式中には大気安定度によって決まる係数が含まれている。Singer と Smith (57) は大気安定度を風向計の針のふれる角度を基準に5つのカテゴリーに分け、定性的にそれらが発生する日時と傾向を論じた。1966年に彼らはブルックヘブーン・ガステネス・クラスと呼ばれる拡散式に代入する定量的な拡散パラメーターの関係式を発表した。Pasquill (12) も Singer と Smith が行なった安定度分類とは別に、簡単に、定量的な拡散公式に代入できうるような一般的な形で安定度評価法を具体化した。彼が評価の基準としたパラメーターは煙の広がり正規分布するものと

仮定して求められた式 (3-12) の中に含まれる σ_y と σ_z であり、それらパラメーターと日射量、風速および放出点からの風下距離の関係を示した。諸拡散公式と拡散パラメーターをまとめて示すと Table 2-3 と Table 2-4 となる。

定常拡散公式の計算値の信頼性は煙源からの風下距離によって変ることが、一般に認められている。したがって公式を利用するに当っては、その点を十分考慮せねばならない。OECD 大気管理研究グループによると信頼性と距離との関係を次のように表わしている (58)。a) 250m 以下での有用性は疑問である。b) 0.25-2km は幾分有用である。c) 2-10km はもっとも有用である。d) 10-20km は幾分有用である。e) 20km 以上ではあまり有用でない。

煙源から近い距離での拡散公式の適用は 2km 前後が 1 つの基準となる。

2-4 都市域への拡散公式の応用

都市域の大気汚染の特徴は汚染源が無数にかつ不規則に立体分布し、さらに時間的にも季節的にも汚染物質の排出量が変動することである。また地表面が田園地域のように滑らかでなく、都市気象といわれる独特の気温分布や大気の流れを生ずる。このような都市域の汚染濃度推定にはこれまで σ 拡散モデルの使用が試みられている。

Pooler (59) は米国テネシー州ナシュビルの都市域の煙の拡散の研究で各排出源からの煙が鉛直方向には正規分布をし、水平方向には風向方位の区分基準である 16 分割区分角 $\pi/8$ ラジアン内で均一に分布するものと仮定して 1 か月の風配データによって月平均汚染濃度を計算している。同じ方法を Clarke (39) はオハイオ州シンシナテで応用している。

Turner (13) は前述した Pooler と同じデータを使って彼が作った安定度分類と拡散公式によって 2 時間と 24 時間平均の硫酸化物濃度を計算している。

Fortark (60) はドイツのブレーメン市を対象に面源を 100 個の点源として正規分布を仮定した拡散式に基づいて拡散モデルを開発している。

Table 2-3 Dispersion Formula

1. Roberts's Formula (Classical Solution) (46)

$$\text{Point source: } C = \frac{Q_p}{4\pi x \sqrt{K_y K_z}} \exp\left(-\frac{uy^2}{4K_y x} - \frac{uz^2}{4K_z x}\right)$$

$$\text{Line source : } C = \frac{Q_L}{\sqrt{2\pi K_z x}} \exp\left(-\frac{uz^2}{4K_z x}\right)$$

2. Bosanquet and Pearson's Formula (10)

$$\text{Point source: } C = \frac{Q_p}{\sqrt{2\pi upqx}^2} \exp\left(-\frac{y^2}{2q^2 x^2} - \frac{h}{px}\right)$$

$$\text{Line source : } C = \frac{Q_L}{pux} \exp\left(-\frac{h}{px}\right)$$

Stability	p	q
Large disturbance	0.1	0.16
Neutral disturb.	0.05	0.08
Small disturbance	0.02	0.04

3. Sutton's Formula (11)

$$\text{Point source: } C = \frac{2Q_p}{\pi C_y C_z ux^{2-n}} \exp\left[-x^{n-2} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2}\right)\right]$$

$$\text{Line source : } C = \frac{2Q_L}{\sqrt{\pi} C_z ux^{1-n/2}} \exp\left(-x^{n-2} \frac{h^2}{C_z^2}\right)$$

Stability	n
Large lapse rate	0.2
Zero or small temperature gradient	0.25
Moderate inversion	0.333
Large inversion	0.5

4. Calder's Formula (53)

$$\text{Point source: } C = \frac{Q_p}{2k_a u_*^2 x^2} \exp\left[-\frac{u}{ku_* x} \left(\frac{y}{a} - z + h\right)\right]$$

$$\text{Line source : } C = \frac{Q_L}{ku_* x} \exp\left[-\frac{u(z-h)}{ku_* x}\right]$$

$a=v', w'$, k : Von Karman's constant

$u_* = ku / \ln\left(\frac{h-z}{z_0}\right)$, h : a effective source height,

5. Clarke's Formula (39)

$$\text{Point source: } C = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{Q_p}{\sigma_z \theta u x} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$\text{Line source : } C = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{Q_L}{u \sigma_z}$$

$\theta = 2\pi/16$ radian,

The most probable relative one-hour-averaged concentration at a point located within a 22.5° degree sector down-wind from a continuous point source is obtained by assuming a uniform lateral distribution of concentration over the sector.

6. Slade's Formula (56)

$$\text{Point source: } C = \frac{Q_p}{\sqrt{2\pi} (\sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2)^{0.5} D_m u} \exp\left[-\frac{y^2}{2(\sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2)} - \frac{0.69t}{T_{1/2}}\right]$$

σ_{y0} : the standard deviation of concentration in the horizontal at a half of the radius of the circle equal to a county area,

σ_y : the standard deviation of concentration in the horizontal given by Gifford's formula

7. Pasquill (12) et al.

$$\text{Point source: } C = \frac{Q_p}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$\text{Line source : } C = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{1}{u \sigma_z} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Table 2-4 Parameters in Dispersion Formulas

1. Pasquill's Stability Categories(12)

Surface wind speed (at 10 m)	Insolation			Night	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly overcast or $\geq 4/8$ low cloud	$\leq 3/8$ cloud
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

For A-B taken average of figures for A and B, etc

The parameters are determined by the Pasquill's figures for each stability category.

2. Isplitzer's Stability Categories(20)

$$\begin{aligned} \text{Lapse rate: } \sigma_y &= (\lambda \bar{u})^{0.12} x^{0.88} & \sigma_z &= (\lambda \bar{u})^{0.41} x^{0.59} \\ \text{Inversion : } \sigma_y &= (\lambda \bar{u})^{0.06} x^{0.94} & \sigma_z &= (\lambda \bar{u})^{0.37} x^{0.63} \end{aligned}$$

3. Singer and Smith's Stability Categories(57)

Brookhaven gustiness class	σ_y	σ_z
Light wind(strong insolation)	$0.4x^{0.91}$	$0.41x^{0.91}$
Moderate to strong wind	$0.36x^{0.86}$	$0.33x^{0.86}$
Moderate overcast skies	$0.32x^{0.78}$	$0.22x^{0.78}$
Stable condition	$0.31x^{0.71}$	$0.06x^{0.71}$

4. Singer, Frizzora and Smith's Stability Categories(21)

Stability	σ_y	σ_z
Lapse rate showing an increase in actual temperature with height	$0.15\sigma_a x^{0.71}$	$0.15\sigma_e x^{0.71}$
Lapse rate isothermal or decreasing with height	$0.045\sigma_a x^{0.86}$	$0.045\sigma_e x^{0.86}$
σ_a (deg): standard deviation of the azimuth angle at source height		

σ_e (deg): standard deviation of the elevation angle
at source height

$$\sigma_{a100} = (23/\bar{u}) + 4.75 \quad \text{at 100 meters height}$$

5. Martin and Barber's Stability Categories(22)

Stability	n	C_z	
$\frac{dT}{dz} < -\frac{0.4}{100} \text{ (}^\circ\text{C/m)}$	0.2	$C_z = 2C_y$	$0.22x$ at $x \approx 0.8\text{km}$
$-\frac{0.4}{100} < \frac{dT}{dz} < \frac{0.4}{100}$	0.25	$C_z = C_y$	$0.03x$ at $x \approx 1\text{km}$ $0.017x$ at $x \approx 30\text{km}$ $0.028x$ at $x \approx 5.5\text{km}$
$\frac{dT}{dz} > \frac{0.4}{100}$	0.33	$C_z = \frac{C_y}{12}$	$0.008x$ at $x \approx 28\text{km}$

Ott と Clarke (18) は 1967 年 ワシントン D.C. の自動車排ガス中一酸化炭素ガスに対して、年間平均濃度を求める式を、Pooler の方法を参考にして作成し、計算を行なっている。

Ulbrich (16) はロサンゼルス市を対象に、これまでの定常拡散公式とはまったく異なった集中定数系モデルを提案している。Hilst (62) はコネチカット州について煙の流跡を考慮した拡散モデルを提案している。

Robert (14) らはシカゴ市を対象に瞬間点源からの煙のパフの濃度分布を求める 3 次元方向に正規分布を仮定した式を電子計算機で解くことを提案している。

これらの拡散モデルによる汚染濃度の推定は現在研究中であり、まだその最終的な成果が明らかにされていない。これらの数式モデルとその特徴をまとめると付録の Table 2-A-2 となる。

第3節 都市域を対象とした汚染物質輸送数式モデルの定式化

都市のスケールで大気の流れを見ると大気は乱流であるといえる。乱流プロセスを扱うすっきりした近似解法はいわゆる有効輸送係数の定義から得られる概念に基づいている。この考えによるとその流体の持つ量はある時間中の平均値 $\bar{V}_i(X_i)$ とその時間内の外乱 $V_i'(X_i, t)$ との和

$$V_i(X_i, t) = \bar{V}_i(X_i) + V_i'(X_i, t)$$

で表わされる。そこでこのような表現式を微視的収支式に代入して多重勾配表示による収支式を誘導する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(\bar{V}C) - \text{div}(\rho \tilde{D} \text{grad} \frac{C}{\rho}) = R \quad 3-57$$

ここで添字(-)は時間平均を、(～)は有効係数を示す。Cは汚染物質の濃度、

\mathbf{V} は風速ベクトル, ρ は密度, \tilde{D} は混合拡散係数, R は成分 C の発生ないしは消滅を示す速度項である。非圧縮性流体で密度一定の場合には式 (3-57) は次のように簡単な形をとる。

$$\text{div} \mathbf{V} = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial t} + \bar{\mathbf{V}} \cdot \text{grad } C - \text{div} (\tilde{D} \cdot \text{grad } C) = R \quad (3-58)$$

人間が日常生活している空間では建物が不規則に分布し、地表面近く 50-100 m 以下のいわゆる接地境界層内の風速の外乱が上空のそれよりも大きく、空気の流れは異なった特性を持つ。そこで煙の拡散過程は接地層とその上層と 2 つの数式モデルの組み合わせで表わす方法がとられた。上空の煙の伝播過程は、多重勾配表示によって式が誘導される。これは従来の定常拡散公式にあたる。地表近くの伝播過程は最大勾配表示が適用された。

3-1 大気境界層内輸送数式モデル

上空では拡散式 (3-58) は次のような簡単化が行なわれる。

(i) 平均風は定常で 1 次元の流れであり、風ベクトル \mathbf{V} の x, y, z 方向の成分を

$$(u, v, w) \text{ とすると } v = w = 0, u \neq 0$$

(ii) 主風向の方向への汚染物質輸送は対流によるものが支配的で拡散による輸送は無視できる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \tilde{D}_x \frac{\partial C}{\partial x} < u \frac{\partial C}{\partial x}$$

(iii) 定常状態を仮定する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

(iv) 密度は変化しない。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(v) 汚染物質の消滅はない

$$R = 0$$

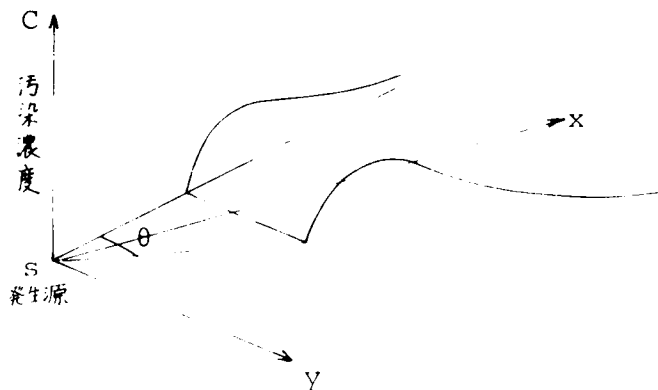
最終的に式(3-58)は次式のように簡単化される。

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} D_Y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_Z \frac{\partial C}{\partial z} \quad 3-59$$

煙が正規分布するものと仮定すると式(3-59)は

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left[\exp\left\{-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \right] \quad 3-60$$

ここで σ_z, σ_y は主風向に水平垂直方向と鉛直方向の煙の分散を示す標準偏差,
 h は煙の排出高さ, Q は排出量,汚染物質の地表面吸着は無く、完全に反射する
 ものとしている。風は $\angle\theta$ ラジアンで囲まれた方向から均等に吹き、その煙が風下
 で $\angle\theta$ ラジアンの外へ拡散しないものとする σ_y は消去される。



Smithら(66)は上述の考え方によって次式を誘導している。

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\sigma_z u x^\theta} \left[\exp\left\{-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \quad 3-61$$

面汚染源に対しては $h=0, z=0$ とおく。無限連続線源からの関下点 x の所の濃度 C_L は線源の排出強度を $q_L(x)$, $\sigma_z = \alpha x^\nu$, $\theta = 2\pi/16$ とすると。

$$C_L = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{q_L(x)}{u \alpha x^\nu} \quad 3-62$$

式(3-61)を x につき x_1 から x_2 まで定積分すると q_A なる面源による濃度は

$$C_A = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{q_A(x)}{u \alpha x^\nu} dx \quad 3-63$$

ここで $q_A(x) = q_L(x)/dx$ で、仮に $q_A(x)$ が $x_1 \leq x \leq x_2$ の区間で一定であるならば、式(3-63)は次のように面源 Q_A とその汚染濃度 C_A の関係を与えるように積分される。

$$C_A = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_A}{\theta \alpha x_F^{\nu+1} u} \quad 3-64$$

ここで Q_A は Fig.2-6 の扇形区割 ABCD 内の全排出量であり

$$Q_A = \int_{x_1}^{x_2} q_A(x) \theta x dx \quad 3-65$$

x_E は次式で示される均等距離である。

$$\nu = 1 \longrightarrow x_E^2 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{2 \ln(x_1/x_2)} \quad 3-66(a)$$

$$v \neq 1 \longrightarrow x_E^{1+v} = (1-v) \frac{x_2^2 - x_1^2}{2(x_2^{1-v} - x_1^{1-v})} \quad 3-66(b)$$

風速と風向は時間とともに変化する。このことを考慮して空気サンプル期間 τ の内に特定の方位 j から風が吹く分率 $\Delta\tau_j/\tau$ を式 (3-64) に乗ずることが考えられる。 j は以前に述べた放射区分で分けられる 16 方向を意味する。

面源による濃度 C_{Aj} は

$$C_{Aj} = \sum_{i=1}^{N_j} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \frac{Q_{Aij}}{\alpha u x_E^{1+v} \theta} \left(\frac{\Delta\tau_j}{\tau} \right) \quad 3-67$$

N_j は j 方位にある面源の数である。

点汚染源による濃度 C_{pj} は式 (3-61) から

$$C_{pj} = \sum_{i=1}^{M_j} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \frac{Q_{pij}}{\alpha u x_{ij}^{1+v} \theta} \left(\frac{\Delta\tau_j}{\tau} \right) \exp\left(-\frac{h_{ij}^2}{2\alpha^2 x_{ij}^{2v}}\right) \quad 3-68$$

すべての排出源を対象とした濃度 C_B は式 (3-67) と式 (3-68) のすべての方位を加え合わせた値となる。

$$C_B = \sum_{j=1}^{16} (C_{Aj} + C_{pj}) \quad 3-69$$

3-2 接地境界層内輸送数式モデル

地表面近く 人間の生活圏では高層建築物や地形による粗度, 人工的な熱源が存在するため田園地帯に比してきわめてよく混合される。式 (3-58) は次のような項目によって簡単化が行なわれる。 V は風ベクトル, V は空間容積を示す。

(i) $u_y = u_z = 0$, すなわち $V = (u_x, 0, 0)$

$$(ii) D_x = D_y = 0$$

(iii) $R=Q-kC$: Q は場所、時間によって定まる汚染物質排出強度、 k は消滅速度定数。

式(3-58)を巨視的物質収支式で表わす。

$$\int_V \left[\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{VC} \right] dV = \int_V [R + \text{div}(\mathbf{D} \text{ grad } C)] dV \quad 3-70$$

左辺第1項は

$$\begin{aligned} \int_V \frac{\partial C}{\partial t} dV &= \frac{d}{dt} \int_V C dV - \int_V (\mathbf{v}_s \cdot \mathbf{C}) dV \\ &= \frac{d}{dt} \int_V C dV - \int_S \mathbf{n} \cdot (\mathbf{v}_s \mathbf{C}) ds \end{aligned} \quad 3-71$$

上式の両辺に $\int_V \nabla \cdot (\mathbf{VC}) dV$ を加えると

$$\int_V \left[\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{VC}) \right] dV = \frac{d}{dt} \int_V C dV + \int_S \mathbf{n} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{v}_s) \mathbf{C} ds \quad 3-72$$

\mathbf{v}_s は容積 V を含む表面 s での速度で、 \mathbf{n} は表面の外側に向う垂直ベクトルである。空気が流入、流出する面 s_1 と s_2 にわたった積分と、流入、流出をせぬ面の積分に分けると、後者は0となる。

$$\int_S \mathbf{n} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{v}_s) \mathbf{C} ds = \int_{s_1+s_2} \mathbf{n} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{v}_s) \mathbf{C} ds = (C_{in} - C_{out})q \quad 3-73$$

C_{in} は流入空气中汚染濃度、 C_{out} は流出空気濃度、 q は流量である。 C について容積 V の幾何平均をとる。

$$\bar{C} = \frac{1}{V} \int_V C dV \quad 3-74$$

式 (3-70) に式 (3-72, 73, 74) を代入し、3 つの項目の簡単化を行なうと

$$\frac{d(V\tilde{C})}{dt} = (C_{in} - C_{out})s_l u_x + \int_V \frac{\partial}{\partial z} D_z \frac{\partial C}{\partial z} dv + \int_V Q dv - \int_V kC dv \quad 3-75$$

容積 V の水平方向の代表長さを L_e 、高さを z とする。ここで L_e は不変とする。 $C_{in} = C_B$ 、 $C_{out} = \tilde{C}$ であり、混合槽 V の上面濃度を C_{up} とすると

$$\frac{d\tilde{C}}{dt} = -\frac{\tilde{C}}{z} \frac{dz}{dt} + \frac{u_x}{L_e} (C_B - \tilde{C}) + \frac{\tilde{D}_z}{z^2} (C_{up} - \tilde{C}) + \frac{QI}{z} - k\tilde{C} \quad 3-76$$

z はパラメーター推定によって得られるが、物理的にはすべての汚染物質が地表面近くから放出し、逆転層を突き抜けて上方へ移動せず、かつ逆転層の底が存在するような場合には混合槽 V が明確となり、高さ z が逆転層の底の高さにあたる。そのようなときには z が正の変化速度を持てば、その変化が汚染濃度に影響を与える。しかしそのような特定の場合作を除くと平常時の z はパラメーター推定によって得られる量であり、次のような理由によって z の変化（安全濃度の変動（式 (3-76) の右辺第 1 項））を無視することができる。

a) 排出源が立体的に分布しており逆転層を突き抜けて上方へ汚染物質が放出されるものもあり、逆転層の底が時間的に変化しても実際にそれのみで濃度の変化を起こすとは限らない。

b) z の変化速度が負のとき、その容積変動による濃縮現象は起こらない。

式 (3-76) は次式 (3-78) のようにさらに簡単化される。記号を簡略化するため、 $\tilde{D}_z = D$ 、 $u_x = u$ 、 $\tilde{C} = C$ とおき、 $C_{up} = C_B$ を仮定すると、

$$\gamma = \frac{u}{L_e} + \frac{1}{z^2} \quad 3-77$$

$$\frac{dC}{dt} = \gamma (C_B - C) + \frac{QI}{z} - kC \quad 3-78$$

3-3 拡散輸送モデルのまとめ

前1,2小節では、局地域の汚染濃度推定式を式(3-67)～(3-69)と式(3-78)の組み合わせたものとして表わした。これを模型図で示すと Fig.2-6となる。濃度観測点から遠距離の排出源からの汚染物質の伝播過程は式(3-67-69)で表わされ、局地域の汚染空気とはパラメーター γ で交換される。 γ の単位は時間の逆数である。

提示した拡散数式モデルの特徴を挙げると次のようになる。

- i) 無風状態においても濃度計算が可能である。
- ii) 汚染物質の空气中蓄積を表わせる。
- iii) 定常拡散公式は Sutton の公式、Pasquillの方法がいずれも点放出源から風下数百m以内では適用するのに不適当であるが、2つの提示した数式モデルの組み合わせで、その欠点を取り除くことができる。

第4節 要約

拡散公式をいくらか変形したものが多くの都市域の煙の拡散に应用されるようになったが、これらの拡散公式はその特徴から、煙流モデル、煙源モデル、混合槽モデルに分けることができる。煙流モデルは Sutton や Pasquillらのいわゆる定常状態を仮定した一連の拡散公式であり、煙源モデルは流体中にある1点におかれた単位量の物質が3次元的に拡散する過程を求めた Roberts の式(3-7)に基づいているが、これらはシカゴ市に適用されたパフモデルに当る。混合槽モデルは空間に1つあるいは幾つかの混合をよくする箱を仮想し、その槽内で物質の蓄積を考えたロカンゼルスモデルや本論文で提示したモデルをいう。

最もよく使われているのは煙流モデルである。このモデルは簡単であるが、微風ないしは無風状態の高濃度汚染になり易いときに濃度を計算することが不可能になるという最大の欠点を持っている。煙源モデルは煙の移動を煙流モデルよりも忠実に表わし、無風状態、非定常な風の変化するときにも計算を可能にする。

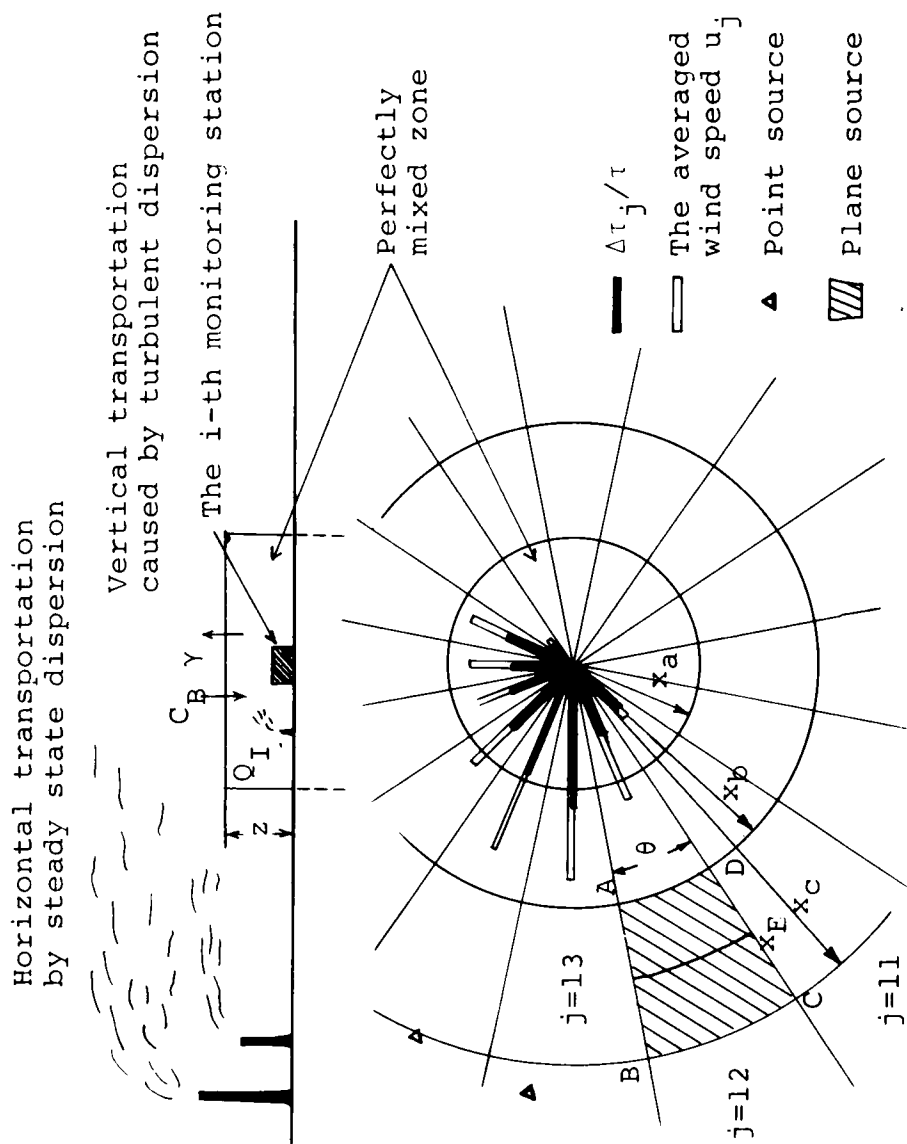


Fig.2-6 Illustration of Transport Model

混合槽モデルは集中定数系で表わされ簡単化されすぎる傾向を持つが、非定常状態での計算を可能にし、しかも計算量が煙源モデルと比較して少なくて済むという利点を持っている。

提案した都市拡散モデルは2つの式の組み合わせで表わされる。すなわち、人間の生活圏である地上から50-100mの高さ以下のゾーンに対しては、大気汚染モニタリングステーションを中心に、ある半径内で一種の完全混合ゾーンを形成すると見なし、非定常1次元常微分方程式を立て、そのゾーン外ではPooler(59)やClarke(39)などによって利用された定常拡散式が成り立つものと考えた。そして混合ゾーン内の大気と、混合ゾーン外の大気の間では混合拡散によって汚染物質が移動するものと見なした。この移動量は大気の乱流混合の強さと風速によって定まるものと考えた。

記 号 表

b	: Batchelor の定数	
C	: 拡散する物質の濃度	(ppm)
\bar{C}	: 混合槽内の平均汚染濃度	(ppm)
C_B	: 混合槽の外部から伝播してくる汚染濃度	(ppm)
C_i	: Sutton の拡散係数, 添字 i は方向を示す	($m^{n/2}$)
D	: 乱流混合拡散係数, i 方向を D_i で示す	(m^2/sec)
\bar{D}	: 乱流混合拡散係数の z 方向に關する空間的な平均値	(m^2/sec)
D_m	: 混合層の深さ	(m)
f()	: 普遍関数	
h	: 煙の排出高度	(m)
K_D	: 拡散係数, i 方向を K_i で示す	(m^2/sec)
K_m	: 分子拡散係数	(m^2/sec)
k	: 汚染物質の大気中からの消滅速度定数	(1/hr)
L	: 煙が y 方向に拡散しうる幅, Monin length	(m)
L_e	: 混合槽の水平面直径	(m)
l_z	: z 方向の渦のスケール	(m)
M	: 物質の総量	(g)
n	: Sutton の拡散公式中の係数	
p	: Bosanquet-Pearson (10) の拡散公式中の拡散パラメーター	
q	: Bosanquet-Pearson (10) の拡散公式中の拡散パラメーター	
Q_A, q_A	: 面汚染源排出強度	(m^3/hr)
Q_L, q_L	: 無限連続線汚染源排出強度	(m^3/hr)
Q, Q_p	: 点汚染源排出強度	(m^3/hr)
Q_I	: 混合槽内の単位面積当りの汚染源排出強度	(m^3/hr)

- R : 汚染物質の発生消滅を示す速度 (ppm/hr)
 $R()$: ラグランジュ 相関関数
 r : 原点からの距離 (m)
 Ri : リチャードソン数
 t : 時間 (hr)
 T : 温度 ($^{\circ}C$)
 $U(z)$: 煙の上端にある粒子の水平移動速度 (m/sec)
 u_x : x 方向の風速 (m/sec)
 V : 空間容積 (m^3)
 \mathbf{V} : 流体の移動速度ベクトル
 V_* : 流体の摩擦速度 (m/sec)
 w^* : 煙の粒子が上方へ拡散する最大速度 (m/sec)
 w' : 鉛直方向風速の平均値からの変動量 (m/sec)
 X, Z : Monin : 煙の上端にある煙の粒子の位置 (m)
 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$: Batchelor: 煙の粒子の t 時の位置, $(-)$ は平均位置 (m)
 x, y, z : 水平主風向を x 軸, 水平かつ x に垂直な方向を y 軸, 鉛直上方向を z 軸とする。
 x_E : 面汚染源を線汚染源になおしたときの均等距離 (m)
 x_{ij} : j 方位にある第 i 点汚染源と濃度観測点との距離 (m)
 z_0 : 地表面の粗度高さ (m)
 α : 係数 $\sigma_z = \alpha x^{\beta}$
 β : 風速プロファイルの指数法則公式の指数
 γ : 混合パラメーター (1/hr)
 ϵ : 係数, 式(3-31)ではエネルギー逸散率
 θ : $2\pi/16$ ラジアン (扇形角)
 κ : カルマンの定数

- λ : 式 (3-41) の係数
 ν : 係数
 ξ : 煙の水平伝播式の拡散パラメーター
 σ_i : i 方向の煙の分散に関する標準偏差 (m)
 σ_w : z 方向の風速の平均値のまわりの分散に関する標準偏差 (m)
 σ_θ : y 方向の風向の変動に関する標準偏差 ($^\circ$)
 σ_ϕ : z 方向の風向の変動に関する標準偏差 ($^\circ$)
 $\phi_w(\zeta)$: 式 (3-32) で与えられる普遍関数
 π : 円周率
 ζ : z/L

第4章 数式モデルの適用

第1節 概説

第3章で提案した都市域の汚染物質伝播を表わす数式モデルは、幾つかのパラメーターを含んでいる。定量的な汚染濃度予測をそのモデルを利用して行なうためには、これらパラメーターの数値を明らかにして各種の気象条件との関係を見つけることが必要である。従来このような汚染物質の拡散係数に関連するパラメーターと気象条件の関係を見つけることが、数式モデルの固定と同様現象の解析の主な部分を占めてきた。そしてパラメーターがあらゆる条件を数量的に十分よく表現し得るか、あるいは気象条件との相関が高いか否かが、もとの数式モデルの適不適を決定する鍵ともなっている。

常時観測される気象要素は、質的にも量的にも限られており、得られたパラメーターを定量化するため直接関連する気象データが存在しない場合が多い。そこで間接的に関連性を持っていそうな他の実測気象要素を代用することになる。このような場合、実測されているデータの中から最も相関の高い要素を見つけ出さざるを得ない。そして定式化されれば各パラメーターが持つ物理的特性と関係式の精度は数式モデルを使った最適な汚染濃度の推定と予測の方法の手懸りを与える。

本章では大阪地方にこの数式モデルを適用し、同地方の汚染濃度実測値、気象観測値を使ってパラメーターを推定し、気象条件とパラメーターの値の関係を明らかにする。第2節ではパラメーターを推定するときの計算の前提条件を示し、第3節では第2節で示された条件に従って、実測濃度データ、排出強度データを数式モデルに代入し、パラメーター推定を行ない、それらパラメーターが持つ特徴を検討し、気象条件に照らして数式モデルを誘導した時点で与えた各パラメーターが持つ特徴の合理性を明らかにし、それらに基づいて気象条件との関係を定式化する。

第2節 濃度計算の条件設定

2-1 汚染源データについて

対象とする大気汚染物質は固定排出源から出る硫黄酸化物とする。

大阪府では昭和43年12月平日の主要66工場、事業所の重油の1時間ごとの排出量調査が行なわれた。その他の中小汚染源については、行政区域ごとに昭和39年12月に重油使用量調査が行なわれており、その結果をスライドさせて昭和43年12月の重油使用量とした。計算に使用した排出源は点汚染源66個、その他の汚染源を面汚染源としているが、次にこれら汚染源を実際の計算式に利用する場合の仮定および計算条件をあげる。

- i) 混合ゾーンの半径を濃度計算地点を中心に2kmとする。この値を設定した根拠はMarshとFoster(67)の研究結果に基づいている。
- ii) 面汚染源の地域区分はFig.2-6中の記号で $x_b=3.5\text{km}$, $x_c=5.5\text{km}$ とし、5.5km以上の遠方にある面源による汚染を無視する。放射区分は計算地点を中心とする16風向方位区分を考える。したがって計算点の周りの面汚染源の数は1つのモニタリングステーションの半径方向には2つとなり、計32となる。
- iii) 汚染源の排出強度が刻々変化するので、計算地点の汚染は到達時間遅れを考慮する。そこで C_B を求める場合次のような計算方法をとる。排出してから計算地点までの滞留時間を τ_h とすると、

3時間 $\leq \tau_h$: その排出源の影響を無視
2時間 $\leq \tau_h < 3\text{時間}$: 2時間前の排出源の排出強度を使用
1時間 $\leq \tau_h < 2\text{時間}$: 1時間前の排出源の排出強度を使用
$\tau_h < 1\text{時間}$: 現在の排出源の排出強度を使用

- iv) 汚染物質の排出源高度は面源については地表面、巨大点源については実際の煙突高度を採用する。1つの企業で複数本の煙突を持っているのが普通であるが、各煙突の排出量まで十分調査することは不可能である。したがって、有

効煙突高度を求めることもできないので、各企業、事業所が有する代表的な煙突の高さを排出高度とみなす。

- v) 点汚染源の燃料重油中硫黄含有率は各排出源に対して調査されている値を使う。面源のそれは、平均値 2.7% を使う。

大阪府公害監視センターにおける C_B を求めるための汚染源データは、付録の Table 2-A-3 に一括して挙げておく。

2-2 気象データについて

大阪府下に張り廻らされた大気汚染監視局は Fig.1-3 で示されたが、この15か所の局で常時観測され迅速に送られる情報は Table 2-5 にあげる。気象データの種類は地上の気象要素として、風向、風速、気温、相対湿度である。これらのデータは10分ごとに1時間につき6個、得られる。風向は16方位区分にされている。監視局以外で測定される気象データ、とくに日射量、降雨量、は大阪管区気象台によるものを使用する。

Table 2-5 Items Measured at 15 Monitoring Stations

Items measured	Performance
SO _x (conductivity)	0-1.0 (ppm), 60min. average
Wind speed	0.4-10 (m/sec), 10min. average
Wind direction	16 directions, 10min. average
Temperature	-10.0-50.0 (°C)

2-3 汚染濃度データについて

対象とする汚染物質は硫黄酸化物であり、その濃度は電気伝導度法によって自動測定されている。10分ごとに1時間平均値が測定記録される。その他の測定されている汚染物質は浮遊粉塵であるが、本研究では利用しない。

2-4 計算の対象地点について

数式モデルを適用して計算解析した地点は、大阪府公害監視センター局であるが、パラメーターの分析は一部平尾局についても行なっている。

平尾局は大阪湾沿岸にあり 大阪市の旧工場地域の中心にあり、周囲に大工場、中小工場が点在している。海に近いので海陸風の交換が明白でしかも海風は強い。センター局は大阪平野の中心、大阪湾の東 8-10km、生駒山の西 10-12kmの所にあり、ビル街の東端にあたり、東側は中小工場が多い。地形的には大阪市内で最も標高の高い大阪城、上町台地の南東にあり、やや低く風速が他の地点と比較して弱い傾向を持つ。

2-5 数式モデル中のパラメーター推定法

次のような数式モデルが第3章第3節で提示された。

< 大気中伝播過程方程式 >

$$C_B = \frac{1}{\varepsilon} \sum_{j=1}^{16} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{n_1}{\theta} \frac{\Delta \tau_j}{\alpha \tau_{uj}} \left[\sum_{i=1}^{N_j} \frac{\varepsilon_1 Q_{Aij}(t-\tau_{hij})}{x_{Eij}^{1+\nu}} + \sum_{i=1}^{M_j} \frac{\nu p_{ij}(t-\tau_{hij}) \varepsilon_{ij}}{x_{ij}^{1+\nu}} \right] \times \exp\left(-\frac{h_{pij}^2}{2\alpha^2 x^2 \nu}\right) \quad 4-1$$

$$\frac{d\hat{C}}{dt} = (C_B - \hat{C}) + \frac{\varepsilon_1 Q_I n_2}{z} - k\hat{C} \quad 4-2$$

ここで n_1 と n_2 は 重油使用量 l/hr から重油の比重が 1 に等しいものとして標準状態での亜硫酸ガスの容積濃度 (ppm) を求めるための換算係数である。とくに n_2 は Q_I を単位面積当りの排出強度にするため、混合ゾーンの面積で割っている。それぞれ $n_1 = 194.5 \times 10^{-6} m^3 g^{-1} sec^{-1}$, $n_2 = 0.89 \times 10^{-6} g^{-1} sec^{-1}$ である。 σ_z は αx^ν であり α と ν は後に決定論的に与えられる。 ε_1 は 0.027 である。式 (4-1, 2) の中に含まれる未知パラメーターは ε , γ , z , k である。これらのパラメーターは汚染濃度実測値 $C_{obs}(t_i)$ と計算値 $\hat{C}(t_i)$ の偏差平方

和が最小になるように推定された。評価関数は次式で与えられる。

$$P.I. = \sum_{i=1}^m \{\hat{C}(t_i) - C_{\text{obs}}(t_i)\}^2 \longrightarrow \text{minimum} \quad 4-3$$

パラメーターの内、 k は雨によって浄化される汚染物質消滅速度を表わすので降雨のないときには0となる。

最適値探索の方法は、一種の勾配法であるが、計算過程はまず幾つかある変数の内の1つを除いて固定しておき、ある変数だけを変えてそれに対する最適点を求める。次にその値を固定しておき次の変数だけを変化させ、ふたたびその変数について最適値を求める。この操作を全変数について繰り返す。これ以上どの変数を動かしても評価関数の値の変化が見られなくなる点をもって最適値とする。

この方法は極値探索の代表的手法の1つである最大傾斜法に比して巧妙なものとは言えないが、ここでは多回にわたって短時間にその最適値を求める必要があること、しかも毎回評価関数が表わす幾何学的形状が非常に異なることで結局最大傾斜法に比して確実に最適値を得ることができるこの方法が採用された。

いずれの方法で極値探索をするにしても、その値が示す形状“山”が各変数の値について単峰でないときには物理的に誤まった各変数の値の組を解として得ることがある。しかし各パラメーターは気象との関連性と、大規模野外拡散実験の結果による現象論的な考察によっておのずからある許容された変域を持っていることがわかる。計算の結果によるとその範囲内で得られた値に対しては単峰性が認められた。

第3節 パラメーターの考察

3-1 パラメーター σ_z

式(4-1,2)の中に含まれるパラメーターは大気安定度など気象状態の影響を受けて短時間の内に大きく変動し得る量であり、連続する短時間の気象データと

パラメーターの値とを対応させることが必要である。そこでパラメーターの推定は評価関数式(4-3)の m を 3 とし、汚染濃度データの連続3時間にわたる値を利用した。したがって未知なパラメーターの個数はできるだけ少ないことが要求される。そこで式(4-1)の中で煙の鉛直方向の濃度の標準偏差 σ_z を αx^v で表わせるものとし、 α および v にはじめからある定数を与えた。それらの値は、次のような方法によって求めている。ブルックヘブンの安定度の分類として Singer と Smith(57)は Table 2-4, 3) のような値を与えている。そこでこの関係を参考にして、煙突高度が 0, 50, 100, 150, 200m で風速が 1m/sec の場合、風下 20km 以内のときの分類 B_2, B_1, C のときについての濃度を求め、それらのすべての値との差の平方和が最小となるようなただ1つの v を推定した。

$$v = 0.84$$

この値は第6章第2節で試みた濃度予測と、第4章のパラメーター z, γ, ϵ の推定を行なうときに必要な C_B の値の推定に使用されたが、後に Fig.2-7 による風下距離と鉛直拡散係数の関係を示す Table 2-6 から推定した値を利用している。これによると

$$v = 0.811, \quad \alpha = 0.123$$

α, v を固定することによって汚染物質の水平伝播過程での大気安定度によって作用を受ける拡散効果はパラメーター ϵ の値によって評価される。このような操作で $\sigma_z = \alpha x^v$ の α や v の値を大気安定度に応じて変動させた場合と比べて C_B の計算値がどの程度誤差を生ずるかを調べるため、Pasquill の安定度分類 B, C, D, E の各場合について C_B を計算した。各安定度で利用した σ_z は Pasquill の風下距離と鉛直拡散係数の関係を示す Fig.2-7 から $2\text{km} < x < 10\text{km}$ の間で適合するような近似直線を求めその式を利用した。Table 2-6 はその近似関数式を示す。ここで D_1 は大気汚染ハンドブック(68)に示された日本式大気安定

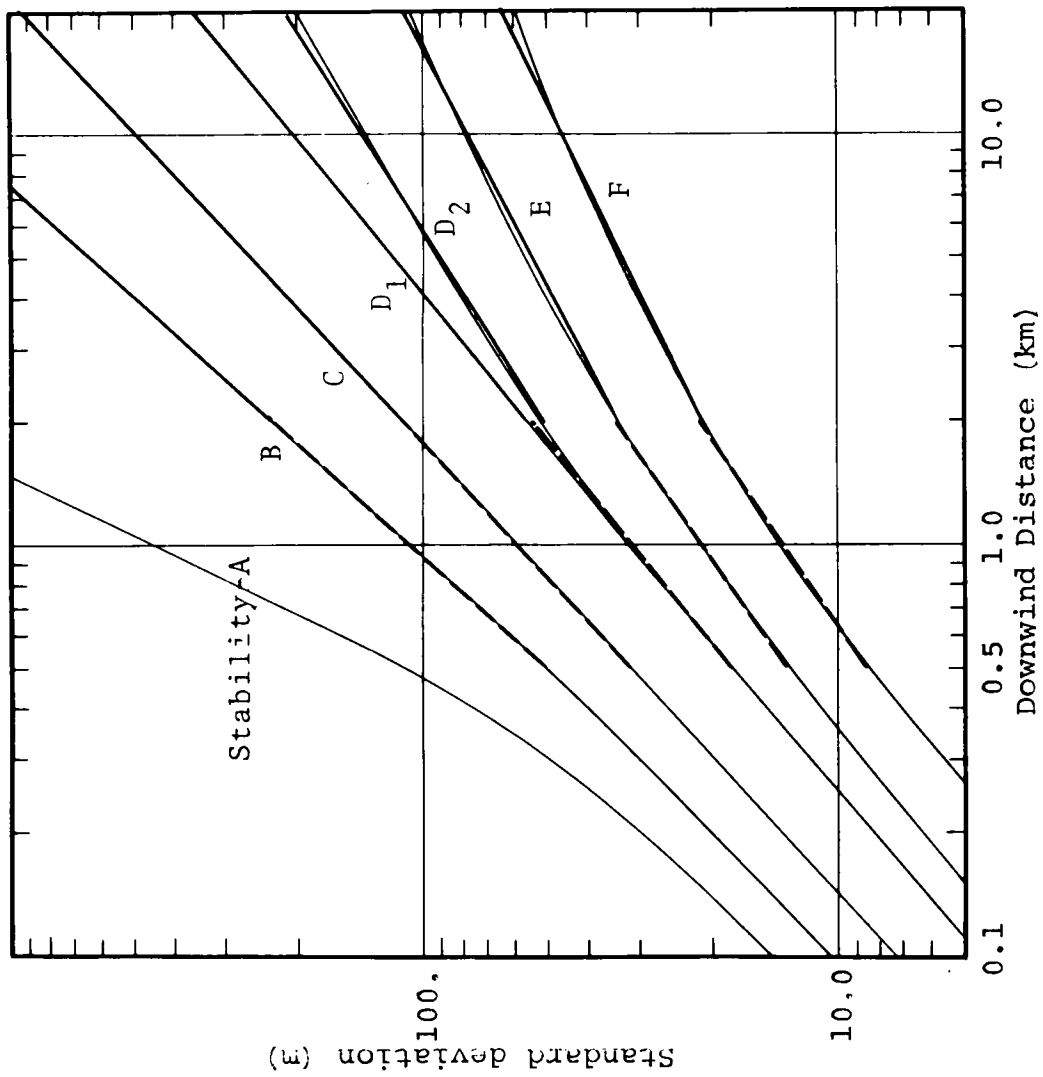


Fig.2-7 Pasquill's Chart for Vertical Spread of Smoke

度 D_1 に相当する σ_z である。 D_2 は英国式分類の D に相当する。

分類 j での濃度 C_{Bj} と分類 D_1 での濃度 C_{BD1} の比をとり、その平均値のまわりの分散を求めた。

$$\bar{C}'_{Bj} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{C_{Bj}}{C_{BD1}} \right)_i \quad (j=B, C, D_2, E, F)$$

$$\sigma_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \bar{C}'_{Bj} - \left(\frac{C_{Bj}}{C_{BD1}} \right) \right\}^2$$

ここで C_{Bj} は大気安定度分類 j の σ_z を使って求めた C_B の値、 i はサンプルの個数、 \bar{C}'_{Bj} は分類 j の無次元量の相加平均値、 σ_c は平均値のまわりの標準偏差を示す。Table 2-7 は各大気安定度分類 D_1 で計算した C_{BD1} の値を 1.0 としたときの平均無次元濃度と標準偏差を示す。以上の結果から σ_z に D_1 の場合に相当する関係式を与えて C_B を予め求めておき、その値に適当な値を乗ずることによって得た値を各種の安定度に相当する C_B の値としても結果的に大きな誤差を生じないものと考えた。Table 2-6 にあげた式によって求めた各大気安定度分類での C_B の値は付録の Table 2-A-4 に示しておく。

Table 2-6 Relation between σ_z and Downwind x (km)

2 km ≤ X < 10 km	
Stability Categories	σ_z
B	$0.583X^{1.09}$
C	$0.108X^{0.918}$
D1	$0.123X^{0.811}$
D2	$0.446X^{0.671}$
E	$0.515X^{0.529}$
F	$0.523X^{0.488}$

Table 2-7 Concentration Ratio and Standard Deviations around the Normalized Values

Stability categories	Normalized Concentration	Standard Deviation
B	0.22	± 0.0197
C	0.503	± 0.0256
D ₁	1.0	0
D ₂	1.302	± 0.0645
E	1.880	± 0.210

3-2 パラメーター z

大気汚染で混合高度という言葉は一般に次の2つの概念で特徴づけられる。

- 1) 大気混合深さ； 地表面から気温逆転層の底までの高さを言い、大気が不安定なゾーンにあたる。その間の気温は乾燥断熱減率ないしは超断熱減率の状態にある。この定義によると、逆転層が存在しないときや、地表面からすぐ逆転が始まっているとき、この深さは事実上定められない。Miller (69, 70) が提唱した概念がこれにあたり、気象学的な大気の状態をさしている。
- 2) 完全混合域； 大気の混合力の強弱よりも汚染濃度が均一な部分としての領域である。汚染濃度の分布から推定される。

本論におけるパラメーター z の性質をこれらの概念と関連づけて明らかにする。

汚染物質の排出源の中で 中小煙突は面源とみなされている。しかしこれらが混合領域に排出されたとしても一部の気塊は、排出速度と浮力を持ったため、その上昇力は大気の混合力を上まわることがよくある。そのような場合 1) の概念によると汚染物質の一部は混合ゾーンの外へ流出することがある。今、汚染物質の移流を考えないで面源強度と濃度の関係を混合領域で表わすならば 次のような式となる。

$$\frac{dC}{dz} = \frac{QA}{z}$$

4-4

ここで C は混合領域の汚染濃度, Q_A は面汚染源強度である。混合槽外へ Q_A の一部が十分混合し切らずに流出するということは Q_A の汚染への寄与率が 1 よりも小さいことを意味する。したがって z は実際によく混合している層の高さか濃度が不均一であってもその層を含めたより高い値をとる。したがって z は分布した汚染大気の厚さと関係した代表高度である。仮に z を常に一定値をとる量とすると Q_A で排出した汚染物質の一部が混合せずに槽外へ流出することは、式 (3-78) で示されているもう一つのパラメーター γ の値を変動させるように働く。

式 (4-3) が最小値をとるように式 (4-1) と式 (4-2) から z を推定したところ Fig.2-8 と Fig.2-9 を得た。この推定は気温の鉛直分布が中立ないしは安定であるものと推定されたときのみについて行なった。同図では最適な混合ゾーンの高さを縦軸に、そのときの風速を横軸にとっている。これらの図によると風速が小さいときは風速が大きいつきに比べてパラメーター z が高くなる傾向が認められる。これは風が弱いときにはゾーン内で排出された汚染物質の有効排出高度が高く鉛直上方まで分布するようになるので、単位体積当りの排出強度が小さくなり、結果的に混合ゾーンの高さが大きくなるように現われることによる。

平尾局と公害監視センター局の最適な z の値は、ほとんど同じような分布の傾向をもっている。平均風速が 2m/sec 以下のときにとる z の平均値を他の局についてそれぞれ求めると Table 2-8 となった。これによると、摂陽局と守口局の2地域は小さい値をとるのは他の地域と比べてこの地域の排出源の位置が低く、この地域的な地勢の特徴が計算結果に現われたものと見なせる。

3-3 パラメーター ϵ

パラメーター ϵ は監視局を中心とする半径 2km より遠方の面汚染源 およびすべての巨大点汚染源からでる煙が水平伝播するときの拡散希釈の程度を表わす。したがって ϵ の値は広域の大気汚染ポテンシャルに関連する。

ϵ は $z = 150\text{m}$ と仮定し、 γ と同時に式 (4-1), (4-2), と式 (4-3) から推定

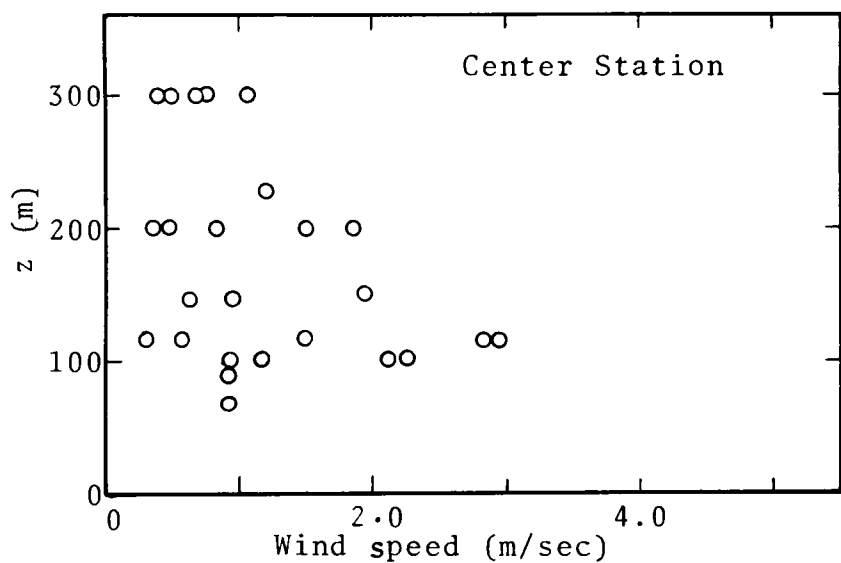
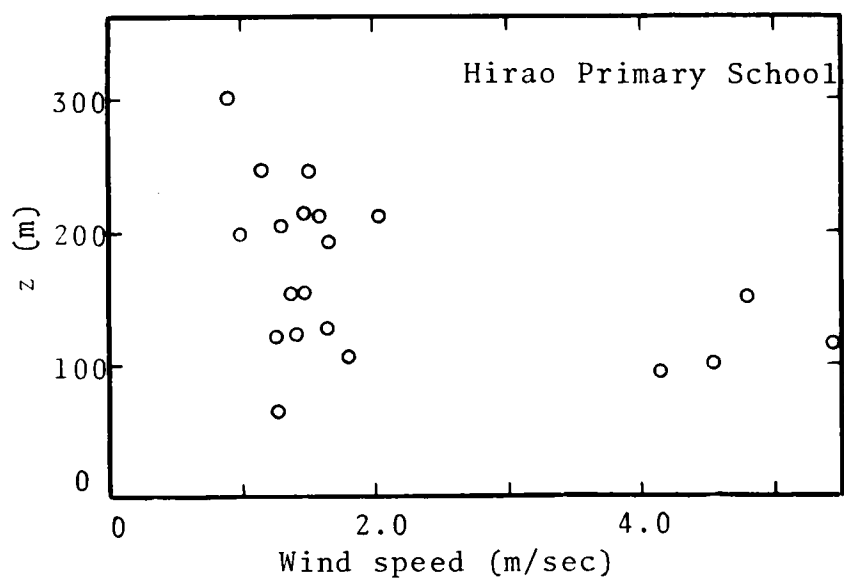


Fig. 2-8,9 Relation between z and Wind Speed u

Table 2-8 Optimal Values of the Height of Well Mixed Zone z (m) in $u < 2$ (m/sec)

Monitoring Station	z (m)
Moriguchi Health Center St.	110
Setsuyo J. High School St.	110
Center St.	150
Osaka City Institute of Hygine St.	200
Hirao Primary School St.	170

した。ここで C_B の値は式 (4-1) で仮に $\xi=1$ とおいて実際に測定されている風向、風速、排出強度のデータを使っている。この計算のプログラムは付録に示す。

ξ の推定値はそのとき仮定する z を小さい値にするにつれてある値に近づく。とくに ξ の変動は z が 200m 以下のときに漸近する値の 5% の範囲内におさまる。平尾局とセンター局のデータから ξ を求めたが、同地点の幾つかの気象要素との間にはあまり相関が認められなかった。Table 2-9 にその結果を示しておく。 ξ と気象要素の相関係数は 0 にきわめて近い値をとる。地表面で観測される一点での風速、気温の変動などと相関がほとんど認められないことは、 ξ が上空の安定度によって変化する量であることを表わしているというように解せる。しかし一応重回帰方程式を求めた。

$$\frac{1}{\xi} = 0.640 - 0.054u - 0.035 \frac{1}{u} \frac{dT'}{dT} \quad 4-5$$

ここでサンプル数は 158、重相関係数は 0.176 となった。ここで地表面気温のデータは次のような方法で求めた値を使っている。第 1 編第 2 章で 1 日を周期とする地表面気温の日平均値のまわりの変化が Fig.1-1 で示されたが、これによると 1 日の平均気温は 9 時および 21 時頃の気温に相当する。Fig.10,

(A), (B) は気温の日変化の実測例であるが、破線は前日の 21 時と当日の 21 時の気温を結んでいる。この気温の勾配は、同時刻に 850mb 面の高さで測定された取鳥県米子と和歌山県潮岬の高層気温観測値の平均値の 24 時間の変化ときわめてよく一致する。そこで、この気温の変化は気団の移流による大気本体の気温の変動を示すものと見なせる。その値を基準として気温の変動速度 dT'/dT と基準気温からの偏差 T' を

求めこれをパラメーターとの相関を求める因子とした。

Temperature Difference		
	Dec. 3, 4 '68	Dec. 12, 13 '68
Yonago	0.4	-4.4
Shionomisaki	0.2	-3.4

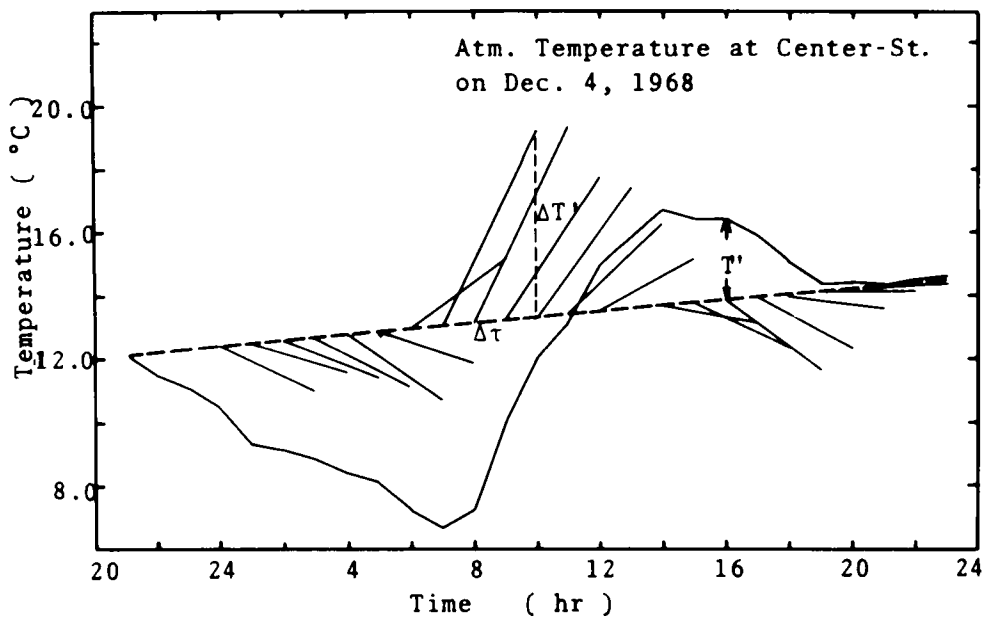


Fig.2-10 (A)

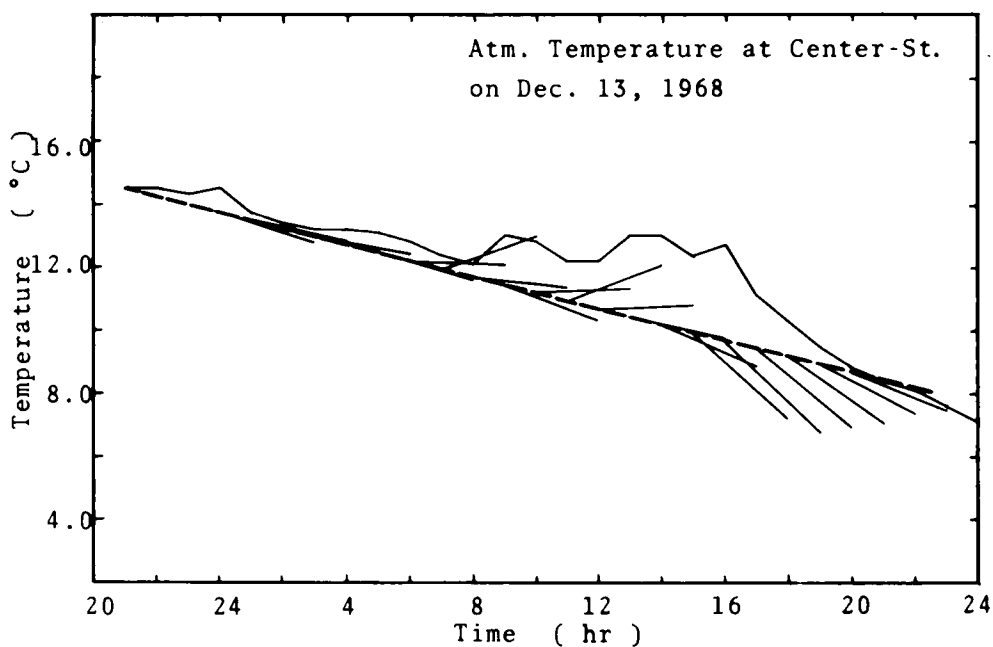


Fig.2-10 (B)

Fig.2-10 Diurnal Variation of Temperature

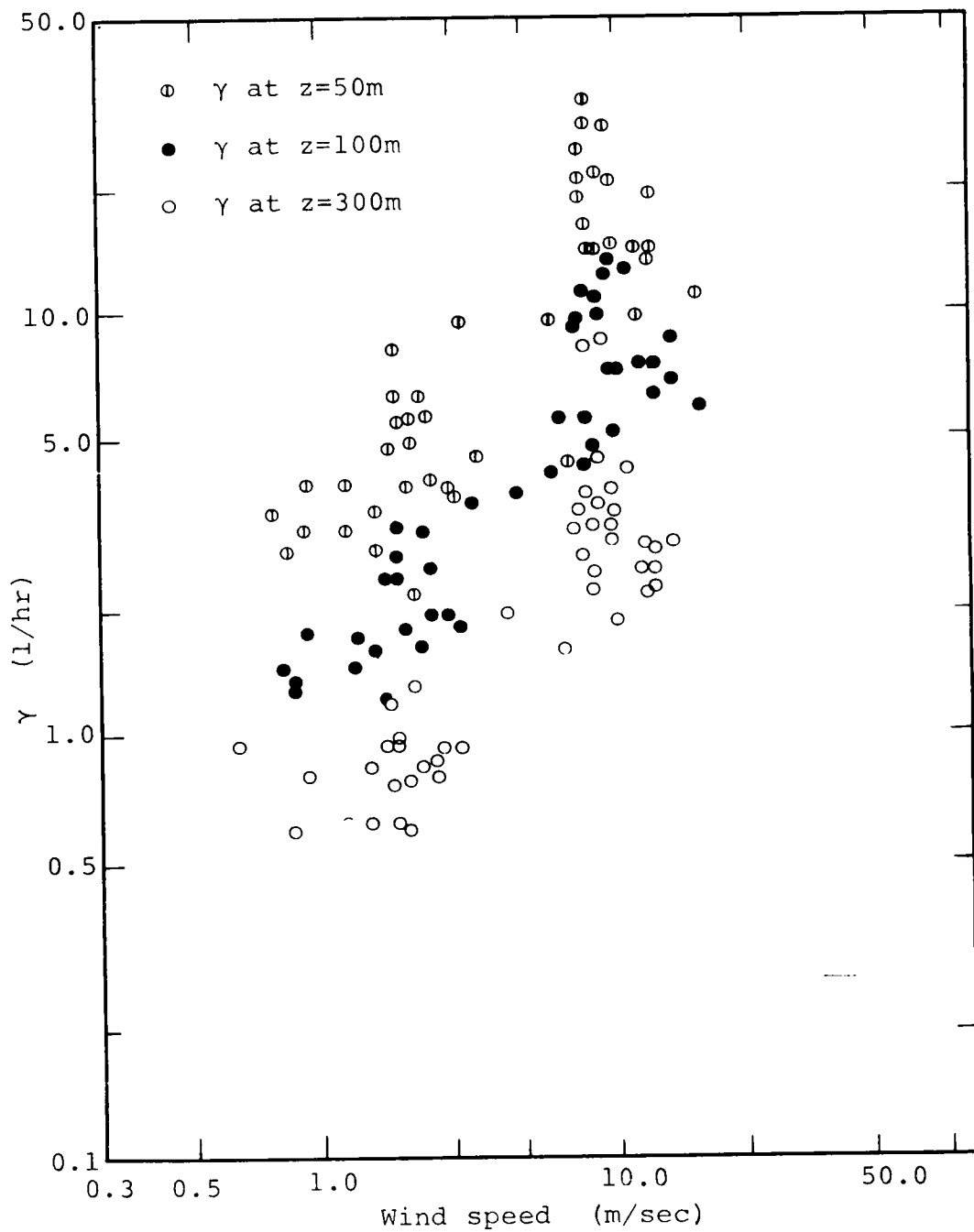


Fig.2-11 Relation between γ and Wind Speed at Stable Atmospheric Conditions

3-4 パラメーター γ

3-4-1 気温成層が中立あるいは安定な場合

Fig.2-11 は z の値が不変と仮定し気温成層が中立あるいは安定であると推定されたときのパラメーター γ を縦軸に、そのときの風速を横軸にとり両対数紙にプロットしたものである。異なった記号は混合槽の高さ z を 50m, 100m, 300m と仮定したときのそれぞれの γ の値を示している。使用した気象と汚染の実測データは昭和 43 年 12 月 7, 13 日, 44 年 2 月 14, 15 日のものである。

風速が 1m/sec のときの各混合槽の高さでの γ を推定すると $z=300\text{m}$ で $\gamma \approx 0.55$, $z=100\text{m}$ で $\gamma \approx 1.47$, $z=50\text{m}$ で $\gamma \approx 3.3$ が得られる。このデータに基づくと γ と風速および高さの関係は 次式のような実験式で近似された。

$$\gamma \approx \left\{ 0.035z \frac{2du}{dz} + 1.3 \right\} \frac{3600}{z^2} \quad (1/\text{hr}) \quad 4-6$$

ここで du/dz は 式 (2-8) から求められる。 γ は風速には z 比例する。式 (4-6) は z が一定値を常にとるものと仮定したときに推定した γ の値を表わしており、それは最適な z の値に対する数値ではない。

3-4-2 あらゆる安定度の場合

今 パラメーター z が平均値 150m を常にとるものとして推定したパラメーター γ と日射量、風速との関係を求めた。

大阪地方では気温の鉛直分布が常時測定されない。この気温分布のデータが無いことは 上空の安定度を第 2 章第 2 節 式 (2-13) による 混合拡散係数で評価することを不可能にする。Pasquill の大気安定度表で示されているごとく、気温の鉛直分布に代る気象データに日射量があげられる。Table 2-10, (A), (B) は推定したパラメーター γ とその時の平均風速、日射量をあげている。

Table 2-10 (A)は 8-13時の期間のデータであり、(B)は 14-17時の期間のものである。ここで q は日射量である。同データから次のような回帰方程式をあてはめた。

$$\gamma = a_1 q u^{a_2 q + a_3}$$

式の形は風速を幾つかのランクに分け、 q と γ を、また q を幾つかのランクに分け、風速と γ を2次元のグラフにプロットして推定された法則性から得た。同式は非線形であるので両辺の対数を取り $\ln \gamma$ を従属変数、 $\ln q$, $q \ln u$, $\ln u$ を変数として線形化して回帰方程式を求めた。

$$\begin{aligned} 8-13 \text{ o'clock; } \gamma &= 0.44 q u^{-0.1 q + 1.6} & \text{corr.} &= 0.591 \\ & & & 4-8 \\ 14-17 \text{ o'clock; } \gamma &= 0.644 q u^{-0.1 q + 1.06} & \text{corr.} &= 0.772 \end{aligned}$$

日射量以外の気象要素と γ の相関関係は Table 2-9 にもととともに示している。この表によると γ はとよりも地表面で測定された気象要素と高い相関にある。重回帰方程式を求めると次式となる。

$$\gamma = -7.9 + 0.96u + \frac{0.234}{u} T' + 11.01 \exp(0.2 \frac{dT'}{dT}) \quad 4-9$$

multi. corr.=0.446

3-5 パラメーター k

大気中に存在する汚染物質は建物、草木および地表面への吸着と雨水中への溶解によって大気中から除去される。

降雨による浄化効果は 硫酸酸化物が溶解性物質であること、雨滴の空気中での硫酸酸化物との接触面積が大きいことによって建物、地面や草木による吸着、吸収よりもはるかに大きいことが推定される。降雨による大気中にある物質の洗

Table 2-9 Correlation between Parameters γ, ξ and Meteorological Data (Numbers of Data = 158)

	u	u^2	u^{-1}	T'	T'/u	$dT'/dT/u$
γ	0.118	0.106	-0.165	0.132	0.146	0.265
ξ	-0.145 as $1/\xi$	0.003	0.095 as $1/\xi$	-0.051	-0.099 as $1/\xi$	-0.108 as $1/\xi$
	dT'/dT	$T'dT'/dT$	$u dT'/dT$	uT'	$\exp(\alpha dT'/dT)/u$	
γ	0.361	-0.081	0.308	0.143	0.332 at $\alpha=0.2$	
ξ	0.011	-0.037	-0.031	0.008	0.040 at $\alpha=0.6$	

u : Wind Speed (m/sec), T' : Temperature Difference ($^{\circ}\text{C}$)
 dT'/dT : Temperature Gradient ($^{\circ}\text{C/hr}$)

Table 2-10 Data of Wind Speed, Insolation and Parameter γ
 (A) 8-13 o'clock

γ	u	q	γ	u	q	γ	u	q
2.3	0.8	10.0	15.5	0.9	19.0	2.8	3.3	1.0
5.4	0.7	16.0	1.1	0.9	7.0	3.4	2.0	21.0
14.1	0.8	19.0	2.8	0.9	13.0	2.3	2.0	23.0
12.8	1.1	17.0	3.7	1.0	20.0	12.7	1.8	19.0
2.5	2.8	3.0	3.7	1.2	23.0	17.0	1.5	25.0
4.5	2.3	11.0	2.8	1.8	3.0	0.89	1.1	7.0
7.9	2.4	13.0	3.4	1.0	1.0	2.8	2.7	29.0
17.0	2.6	15.0	6.0	1.1	4.0			
11.6	2.4	13.0	6.6	1.1	7.0			

(B) 14-17 o'clock

γ	u	q	γ	u	q	γ	u	q
7.9	1.2	17.0	1.4	1.9	2.0	10.6	1.1	18.0
6.0	3.2	2.0	7.2	2.4	9.0	6.6	1.2	12.0
5.4	3.4	9.0	8.7	2.2	4.0	3.7	1.5	5.0
7.9	3.6	7.0	2.5	1.4	18.0	2.8	1.4	2.0
6.0	2.8	4.0	2.5	1.1	12.0	2.5	3.3	30.0
1.7	2.4	9.0	3.1	0.7	3.0			

γ : Parameter (1/hr) u : Wind Speed (m/sec)
 q : Insolation ($\text{cal/cm}^2/\text{hr}$)

浄の理論的な取扱いは Chamberlain (71) によって初めてなされた。彼は大気中にある半径 s と $s+ds$ の間の雨粒子の濃度を $M(s)ds (\text{gr/m}^3)$ で、粒子数を $N(s)ds$ として 次のような式を表わした。

$$N(s)ds = \frac{3}{4\pi s^3} M(s)ds \quad 4-10$$

$E(r, s)$ は 半径 s の雨が終端速度 $V(s)$ で落下するときの物質の捕集効率であるものとする、

$$N(s)V(s)ds = \frac{3}{4\pi s^3} M(s)V(s)ds \quad 4-11$$

したがって

$$\lambda(r, s)ds = \pi s^2 N(s)V(s)E(r, s)ds \quad 4-12$$

そこで浄化速度係数 Λ_{theo} は

$$\Lambda_{\text{theo}} = \int_0^{s=\text{smax}} \lambda(r, s)ds = \int_0^{s=\text{smax}} M(s)V(s)E(r, s) \frac{3}{4s} ds \quad 4-13$$

May (72) は ヨード 131 を添加したリコホジンを野外で雨の降るとき 3.3m の高さから発生させ そのエアロゾル中を通過して落下する雨滴による洗浄率を求めた。一般に式 (4-13) からもいえるが 浄化速度はその成分の濃度に比例している。Beilke と Georgii (73) は与えられた大きさの分布を持つ人工雨滴による亜硫酸ガスの洗浄の室内実験を行なっている。それによると 亜硫酸ガスの洗浄がその水の水素イオン濃度や水質に大きく影響を受けることが分る。この人工雨の実験条件は 1m^3 の容器内で 15mm/hr の定降雨強度でその雨滴の平均半径が 0.85mm の場合である。ここで浄化速度はほど次式で表わせることが認められている。

$$\frac{dC}{dt} = -\Lambda C$$

4-14

Λ は降雨強度と雨中の溶解成分、雨の粒子径等の関数である。

彼らの実験条件では雨滴が落下中にそれへ溶解する成分の絶対量が少ないので、溶解成分の蒸気圧による補集効率への妨害はほとんど無いものと見なせる。しかしながら実際の雨水は数十m-数百mの厚さの汚染大気中を通過するので、その間に溶解成分の蒸気圧によって浄化効果を妨害される。また一般に雨量は数mm/hrの強さであり上の実験条件とは相当異なる。以上の観点から野外での浄化速度定数を彼らの結果から推定することは必ずしも適当であるとはいえない。したがって今日まで硫酸酸化物の降雨による浄化に関する定量的な解明はなされていない。

Table 2-11 Washout-velocity in Relation to pH-value of Artificial Rain

Chemical Compositions of Artificial Rain	pH-value	Λ (10^{-3}sec^{-1})
Distilled Water+NaOH	10.9	2.68
Distilled Water	6.4	1.83
Distilled Water+H ₃ PO ₄	2.6	1.70
Natural Rain	5.5	2.50
Distilled Water+H ₂ O ₂	-	3.50

野外において浄化に関する実測がなされていない原因には次のようなことがある。雨は前線が通過するとき、あるいは近くに停滞するときに降るが、前者のときは風が強く吹く場合が多い。その結果降雨によって大気中の汚染物質が浄化されるのか、それとも風によって拡散希釈されるのかを判断することが困難となる。後者のときは大気が非常に安定な状態が持続し、風はあまり強く吹くことはない。その結果降雨の浄化作用にも増して高濃度汚染が続くので浄化されているか否かの判断が困難となる。これらの現象は1968年12月から1969年2月までの期間の大阪地方の汚染と気象のデータの比較によっても認められる。

降雨のないとき z を定数、 $k=0$ とにおいて ϵ と γ の2つのパラメーターを推定し

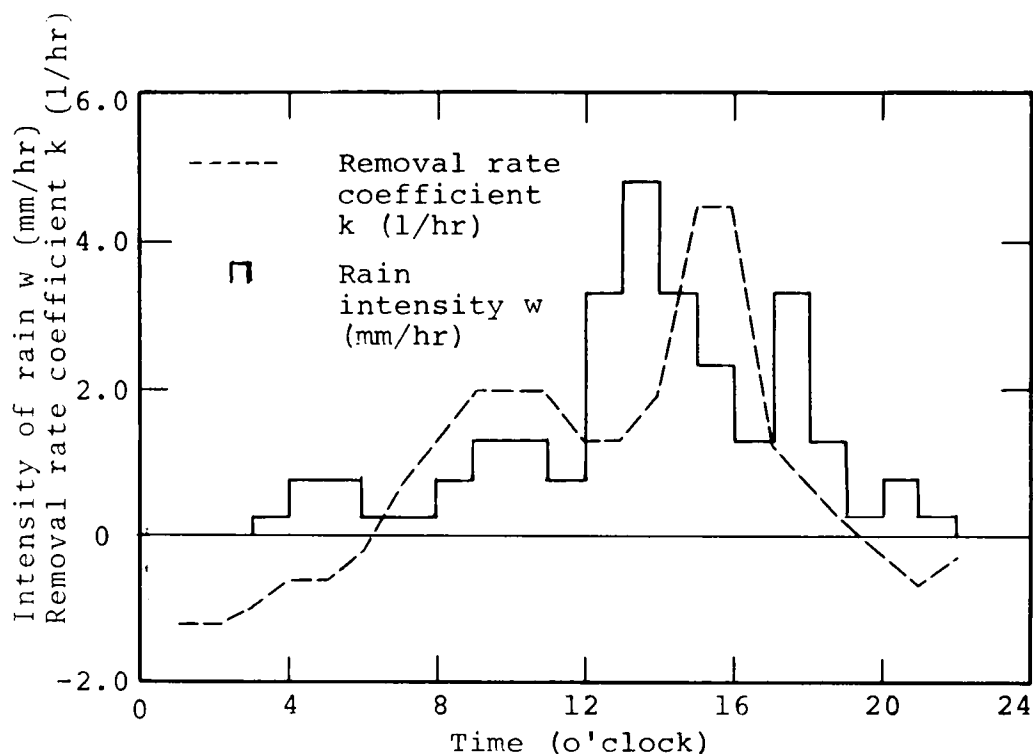


Fig.2-12 One Example of the Relation between k and Rain Intensity w

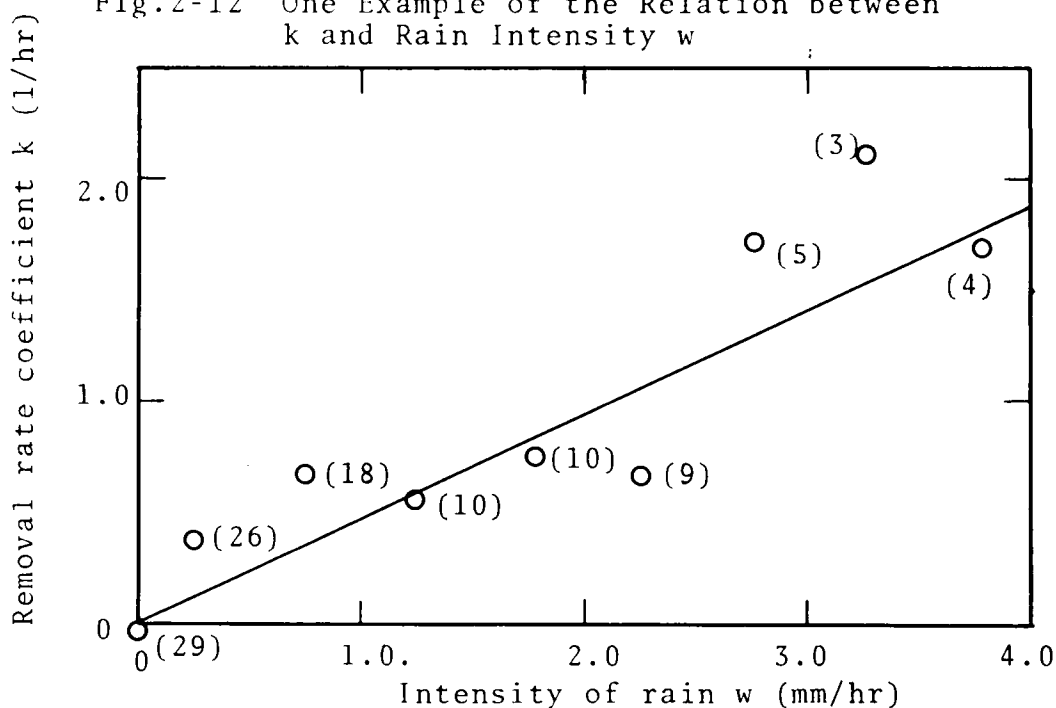


Fig.2-13 Effect of Rainfall on SO_x

たが、次に降雨のあるとき $k \neq 0$ となる。 k を変数とすると式(4-3)で推定するパラメーターは3個となる。変数が多くなると解が得にくくなるため、 γ を式(4-6)、 z を150mとして決定論的に与えた。 k と w のみを推定した。ここで問題となるのは、決定論的に与えた γ の関係式が信頼できるかどうかであるが、このことを明らかにしておくために降雨がなく安定な日時での w と k を推定し、 k の平均値が0に近似できるかどうかを調べた。その結果29個の k の推定式を求めたところ、その相加平均は -0.0788 となり非常に0に近いことが認められ、式(4-3)は w を比較的正しく算出し得ることが確かめられた。浄化速度が濃度に比例するものと仮定して式(4-2)を示しているが、その場合水平伝播されてくる汚染物質はその滞留中に常に濃度が変化するので浄化された形の解析解 C_B は求められない。そこで問題を簡単にするために水平伝播する汚染物質の滞留時間が1時間以内の汚染物質だけから構成される C_B の場合のみを選び推定計算に利用した。したがって浄化作用を受ける C_B の値は、浄化作用を受けないときの C_B に1よりも小さなある値を乗じたものになり、結果的に推定されたパラメーター w が普段よりも大きな値をとることになる。

Fig.2-12 は、降雨量とそのときに推定された k の値を示している。ここで降雨量のデータは大阪管区気象台のものを利用している。パラメーター z の値を変えても w と k の値はほとんど変化しない。Fig.2-13の点は0.5mm/hrの雨量単位幅でグループ分けした領域内に含まれる推定値の平均値である。これらのプロットにつけられている添字は平均された k の個数を示している。このプロットから k と降雨強度の関係を線形近似すると

$$k = 0.47w$$

ここで w は降雨強度 (mm/hr) である。降雨量は自動記録で0.5mm単位で記録される。したがって時間当り $w < 0.5\text{mm}$ のときは 0.0mm/hr として記録される。そこでデータの分析にはそれら領域の中央値をその領域の代表値としている。

降雨の粒径や水質の影響をここでは無視した。得られた降雨による浄化速度定数を使用して雨水のpHを試算した例を付録に示しておく。

第4節 要約

大気汚染濃度を算出するための数式モデルを提示した。同数式モデルは、 ϵ , γ , k , z なるパラメーターを含んでいる。それらは実際の汚染物質排出強度の日変化データ、監視局で実測されている風向、風速、硫酸化物濃度の連続的な時間変化のデータを使って推定された。そして得られたパラメーターと気象要素との関係を定性的、定量的に明らかにした。

各パラメーターとその値に作用する気象因子と関係因子を要約すると、

i) パラメーター ϵ

- a) 上空の気温分布の状態
- b) 広域の場所的平均風速
- c) 排出源有効排出高度の変化

ii) パラメーター z

- a) 気温プロファイル
- b) 風速
- c) 排出源位置

混合槽の高度はそのゾーン内にある面汚染源と見なされた排出源の立体的な分布、地域特性の影響を受けて場所的に異なった値をとることが認められた。

iii) パラメーター γ

- a) 気温プロファイル
- b) 風速
- c) 地表面粗度

大気が安定な場合の γ と風速の関係が明らかとなった。またそれは東京タワーのデータから得た温度伝導度の関係式と比較的よく対応している。しかし z

が大きい場合、鉛直方向と同時に水平方向の流入流出を無視できない。

iv) パラメーター k

a) 雨量

b) 雨の粒径

c) 雨水中の溶解成分

パラメーター k と雨量の関係が定量化できた。これは一般的な降雨による硫酸黄酸化物の浄化力を定量的に把握したことを意味する。しかし b), c) については確認していない。

大気汚染に最も強く作用する要素の 1 つである上空 20-30m から 400-500m の温度プロファイルは実測されていなかったので上空の温度要素を入れた大気の安定度を定量的に求めることができなかった。

記 号 表

C_B	: 混合槽の外部から伝播してくる汚染物質濃度	(ppm)
C	: 汚染濃度の計算値	(ppm)
C_{obs}	: 混合槽内の汚染濃度実測値	(ppm)
$E(r,s)$	半径 s の雨滴による物質の捕集効率	
h_{pij}	: j 方位にある排出源 i の煙の排出高度	(m)
i	: 排出源の番号	
j	: 風向方位	
k	: 雨による浄化速度定数	(l/hr)
L_e	: 混合槽の直径	(m)
$M(s)$: 半径 s の雨粒子の濃度	
$N(s)$: 半径 s の雨の粒子数	
n_1	: 換算係数, 重油の比重を1.0とし, 標準状態で硫黄を亜硫酸ガス の空气中濃度 ppm への換算.	($m^3/g/hr$)
n_2	: 混合槽内で排出される汚染物質の空气中濃度 ppm への換算係数	
Q_A	: 面排出強度	(l/hr)
Q_{Aij}	: j 方位にある i 番目の面排出強度	(l/hr)
Q_I	: 混合槽内の単位面積当りの排出強度	($l/m^2/hr$)
Cd	: 日射量	
s	: 雨の粒子半径	(m)
T	: 気温	($^{\circ}C$)
T'	: ある時刻の気温をその日の平均気温から差し引いた値.	($^{\circ}C$)
t	: 時間	(hr)
u_j	: j 方位から吹く風の平均風速	(m/sec)
u	: 風速	(m/sec)

- u_0 : 高度 z_0 での風速 (m/sec)
 $V(s)$: 半径 s の雨滴の終端速度 (m/sec)
 w : 降雨強度 (mm/hr)
 x : 排出源からの風下距離 (m)
 x_{Eij} : j 方位にある i 番目の面源を線源になおしたときの濃度均等距離 (m)
 x_{ij} : j 方位にある i 番目の点源と観測点の距離 (m)
 z : 地表から鉛直上方向の距離で局地の混合槽の高さ (m)
 Z : 広域の混合槽の地表からの高さを表わすパラメーター (m)
 α : 煙の鉛直方向の広がりを表わす標準偏差 $\sigma_z = \alpha x^v$ の係数
 β : 風の指数分布法則を表わす式中の指数
 γ : 局地混合槽内空気と槽外空気の交換量を槽体積で割った値
 ϵ_1 : 面汚染源の重油中硫黄含有率
 ϵ_{ij} : j 方位にある i 点源の重油中硫黄含有率
 θ : $2\pi/16$ ラジアン
 τ_{thed} : 理論的な雨による物質の浄化速度係数
 $\lambda(r,s)$: 半径 s の雨滴の物質の部分捕集効率
 v : 水平伝播式に含まれる混合程度によってきまるパラメーター
 π : 円周率
 σ_z : 煙の鉛直方向の広がりを表わす標準偏差 (m)
 σ_c : Pasquill の安定度分類法による濃度計算値を分類 D_1 の濃度を基準にして正規化したとき その平均値のまわりの分散
 τ_{hij} : 汚染源からでた煙が観測点上空に到達するまでに要する時間 (hr)
 τ : 風配を求めるときの期間 (hr)
 $\Delta\tau_j$: j 方位から吹く風の頻度

第5章 広域と局地拡散パラメーター

第1節 概説

気象の空間的スケールと大気汚染のそれとの関係はすでに第1編の Fig.1-1 で示した。この図でブロックを結びつける直線の矢印は作用の方向を示すが、大規模な気象現象は小規模な気象現象を生ずる素地を与える。大都市では広い地域にわたって汚染源が広がっているため局地的な大気汚染濃度を推定するときには、濃度推定点付近のみならず遠い地点にある排出源の影響をも大いに受ける。したがって局地汚染濃度の推定を行なうにしても局地気象条件のみならず広域の気象条件、広域の汚染ポテンシャルの情報を利用すれば、濃度予測値の精度を高めることができるであろう。このことはこれまでに論じてきた広域拡散モデルと局地汚染濃度計算モデルの関係を見つけることに他ならない。本章ではこのような観点から数式モデル中パラメーターについて考察した。

第2節 パラメーター Σ と Γ の関係

局地汚染濃度を推定するための数式モデルは濃度計算地点から2km 以遠にある汚染源からの汚染物質伝播式と局地域の濃度推定を行なうための常微分方程式から構成されている。その中で水平伝播式は十数km離れた汚染源からの煙流を表わすため、その煙の拡散は同じスケールの気象条件の影響を受ける。式(4-1)中にあるパラメーター Σ がそのスケールの大気の混合能力を示す唯一のパラメーターとなる。この Σ が広域でかつ上空の大気の状態と密接に関連することは、Table 2-9 に示されたように Σ と地表面での風速や気温との相関が低い結果からも推察される。

本論文第1編では都市スケールの大気浄化能力を評価する方法として2つのパラメーター Σ と Γ を定義した。とくに第1編第5章では Γ を定式として扱うことによって、鉛直方向の混合能力を表わす量としての Σ の特性を明確にした。した

がってこの数値は同じく広域の拡散能力を表わすもの値と密接な関係を持つことが推定される。Fig.2-14 は ξ と Z の関係を示している。この図から

$$\xi = a_1 Z^{a_2} \quad 5-1$$

この式は非線形であるので直接式を変形せずに回帰方程式を求めることはできない。そこで式の両辺に対数を取り 次のような変数変換を行なった。式(5-1)は

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \ln \xi \\ x_1 &= \ln Z \end{aligned} \right\} \quad x_2 = \ln a_1 + a_2 x_1 \quad 5-2$$

のように線形化される。この関数の回帰方程式を求めたところ、同式の重相関係数は 0.690を得、 $a_1=0.000276$ 、 $a_2=1.4$ となった。

定常状態を考えた場合、広域の平均汚染濃度と浄化指数の間には 第1編の式(3-2) から 次の関係が成り立つ、

$$\frac{\bar{C}}{Q_A} = \frac{1}{(\Gamma+k)Z} \quad 5-3$$

ここで Γ は第1編の式(5-3) で与えられるので、 $Z \leq 1000m$ のとき、上式は

$$\bar{C} \propto \frac{Q_A}{uZ^{1.3-1.4}} \quad 5-4$$

一方、式(4-1)と式(5-1)から C_B は次式のようにになる。

$$C_B \propto \frac{Q}{u\xi} \sim \frac{Q}{uZ^{1.4}} \quad 5-5$$

したがって広域に適用した混合モデルから得られる式(5-4)と拡散式から得られる式(5-5)とは いずれも風速と $Z^{1.4}$ の積に逆比例する。

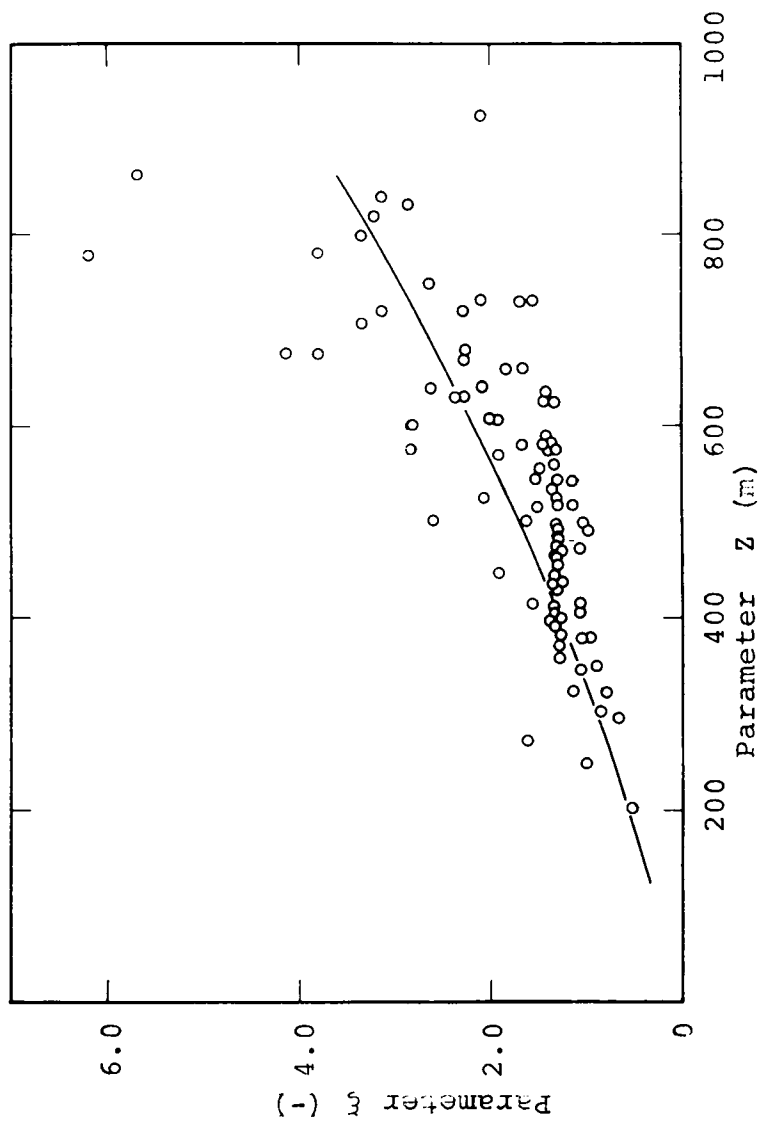


Fig.2-14 Relation between Parameters Z and ξ

以上の関係からパラメーター z も広域的な大気混合度をきわめてよく表わしていることが分った。したがって C_B はパラメーター推定の結果から広域性を持ち広域的濃度 \bar{c} と対応していることが分った。

第3節 パラメーター z と z の関係

これまでの考察ではパラメーター z の値は大気が温度成層上安定ないしは中立であると考えられたときに推定した値の平均値150mを使用した。しかし大気安定度が変動するとき z を常に一定にしておくことは現象論的に不合理である。ところで気温や汚染濃度の鉛直分布が測定されないため、 z をこれら実測値から推定することは不可能である。そこで広域のパラメーター z の関数として z を与えることが可能か否かを検討した。

Fig.2-8, 9 は推定した z と風速の関係を示している。これによると、データのばらつきは風速が小さくなるほど大きくなっているが、この2つの図とも z が風速に反比例する傾向を持っており、次のような式で表わすことができる。

$$z = a_1 + \frac{a_2}{u} \quad 5-6$$

およびその値として $a_1 \approx 3.5$, $a_2 \approx 170$ に近い値をとる。一方パラメーター z は第1編のFig.1-14,15中に示されているように安定ないしは中立のとき

$$z \sim 130 + \frac{685}{u} \quad 5-7$$

式(5-6)と式(5-7)から風速を消去すると近似的に式(5-8)となる。

$$z \sim 0.25z \quad 5-8$$

ここで式(5-7)の風速は広域平均値であるが式(5-6)の風速はセンター局

のものであるので厳密には等しくなく、消去もできないが、 z と Z の巨視的な値の傾向を把握するために上式を求めた。

煙の鉛直方向の分散は拡散式の σ_z で与えられる。大気の鉛直方向の乱れが高さに関して一定であるものと仮定し、煙の有効排出源位置が地表に近いものとするとき、 z と z は σ_z と次のような関係式で示される。

$$\begin{aligned} z &\sim \frac{1}{L} \int_0^L \sigma_z \, dx \\ z &\sim \frac{1}{L_e} \int_0^{L_e} \sigma_z \, dx \end{aligned} \quad \} \quad 5-9$$

したがって $\sigma_z = \alpha x^v$ が x の大きさに関せず成立するものとするれば、

$$\frac{z}{Z} \approx \left(\frac{L_e}{L} \right)^v \quad 5-10$$

となる。ここで Pasquill の σ_z と x の関係図 Fig.2-7 から $v=0.7-0.9$ となるので

$$z = 0.2Z - 0.3Z \quad 5-11$$

したがって式 (5-8) と式 (5-11) の係数がオーダー 的によく一致する。

大気が不安定なとき z をパラメーター推定することはできなかったため Z との関係も推定していないが、あらゆる安定度に対して前述した関係が成立するものと考えて大気安定度 D_1 のときの σ_z を基に z と Z の関係を定式化した。

$$z = 0.169^{0.811} Z \quad 5-12$$

式 (5-12) は 第6章第3節で汚染濃度の予測計算を行なうときに利用する。

第4節 要約

広域拡散数式モデルは2つのパラメーターを持っていた。パラメーターの推定は、都市域の平均化された汚染データ、風速データを使用したので推定値は時刻の変化に対して比較的安定であった。

一方局地汚染濃度推定数式モデル中のパラメーターの推定値は、第4章までのパラメーターの分析からもわかるように、1か所の汚染濃度、気象データを使っているため（データが誤差と不確定な外乱を持っていることから）不安定であった。このような推定値を、さらに誤差を多く含んだ一点での実測気象因子と関係づけて高い相関を得ることは困難である。そこでパラメーター α からパラメーター ϵ と γ を推定する方法を検討した。その結果、 ϵ と γ を α の値から求める式を得た。 ϵ はとくにこれまでの分析で経験しなかった高い相関係数をもって α と関係づけられた。またそれら広域パラメーター α を導入した関係式の合理性が推定したパラメーターの特徴と比較することによって確かめられた。

パラメーター γ は局地風速など局地気象条件や地形条件に支配される傾向が強いので ϵ や α と結びつけることができなかった。

記 号 表

a_1, a_2	式 (5-1) に使われた係数	
C_B	混合槽の外部から伝播してくる汚染物質の濃度	(ppm)
\bar{C}	広域の平均汚染濃度	(ppm)
L	\bar{C} で表わされる広域の代表長さ (都市域の直径)	(m)
L_e	局地混合槽の代表径	(m)
Q	汚染物質排出強度	(m^3/hr)
Q_A	汚染物質の広域の面排出強度	($m^3/m^2/hr$)
u	地表近くの風速	(m/sec)
U	地表近くの広域平均風速	(m/sec)
Z	V なる体積で表わされる広域の混合槽の地表からの代表高さ	(m)
z	局地混合槽の高さ	(m)
α_v	$\sigma_z = \alpha x^v$ に使われた係数	
Γ	広域混合槽 V 内の空気と外部空気の交換量 Γ' を槽体積で割った値	
	Γ'/V	(1/hr)
ϵ	汚染物質の水平伝播式 (4-1) に含まれた大気混合度によって変動するパラメーター	
σ_z	煙の濃度の鉛直方向への分散	(m)

第6章 局地汚染濃度予測の方法と結果

第1節 概説

汚染濃度予測値に含まれる誤差は多くの要素から構成される。

- (i) 気象の予測が外れることから生ずるもの
- (ii) 排出源データの不正確さから生ずるもの
 - a) 時間的に変化する排出強度が正確でない
 - b) 排出源の位置が詳しく得られない
 - c) 有効煙突高度が得られない
- (iii) 数式モデルの現象表現力の欠如から生ずるもの
 - a) 水平伝播式の現象との不一致
 - b) 混合槽モデルの現象との不一致

ある時点で対象とする事柄の状態を限られた種類の因子と、その測定、予測の詳しさのみで表わすことは、不可能な場合が多い。そのような不確定な要素を持つ現象を、その時点以後に推定する場合、その時点以前の状態を尊重して将来の推定を行なうことが合理的である。大気汚染濃度の予測計算に欠かすことのできない気象データは前述したような特性を持ち、かつ実測値にも少なからず外乱を含むため、このようなプロセスでの現象の予測や推定に対して適応論的な方法は非常に有効な手段となる。

気象学では適応論的方法が持続法、傾向法という名称で呼ばれ、これまでに気象予報に実用されてきた。しかし大気汚染濃度の推定と予測の計算過程で、この概念がとり入れられたことはなかった。本章では濃度を予知する場合、式中の拡散パラメーターの推定に決定論的方法と同時にこの概念を応用した。

適応論的な方法を実際の汚染濃度推定計算に応用するとき、その方法は式中の特定のパラメーターのみを対象とする場合、式自体を対象とする場合など、幾つかあげられるが、適応性をどのような形で計算過程に導入するかは非常に難かし

い問題となる。

本章で 幾つか試みた適応論的な方法による濃度計算結果から それらの問題点が明らかになった。Fig.2-15 は適応論的な方法による汚染濃度予測過程の概念を示す。なお 大気汚染濃度の数式モデルによる予測は伝播作用を支配する気象要素の予測を行なわずして不可能である。言うまでもなく その気象要素とは地上から 1-2 km あたりまでの気温、風向、風速である。このような大気境界層内での空気の状態の予測は気象学上最も遅れた研究分野であり、一応本論ではその予測精度、予測の可能性の問題を除外している。

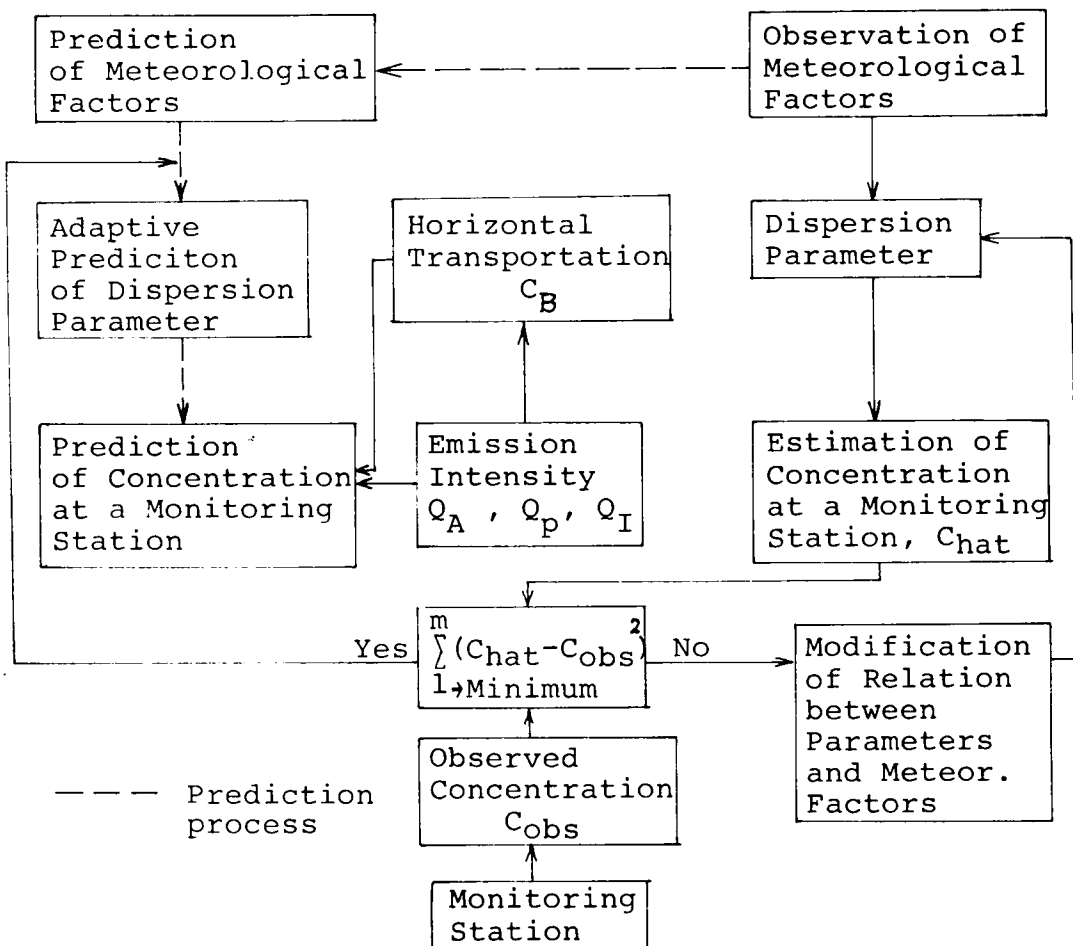


Fig.2-15 Procedure of a Prediction for Air Pollution Concentration

第2節 適応論的な方法による計算結果および考察

2-1 パラメーター推定に温度変化を考慮しない場合
汚染濃度計算に必要な条件を次のように設定する。

- a) $z = 150\text{m}$,
- b) 風速分布の指数法則の指数 β を 0.4 とする。
- c) $k = 0.47w$,
- d) γ は式 (4-6) から $z=150\text{m}$ での値とし、右辺第1項の係数 λ を適応パラメーターとする。

$$\gamma = \lambda u + 0.208 \quad 1/\text{hr} \quad 6-1$$

- e) ε は γ のように風速との関数関係が明白でないので各時刻に推定した値を将来に持続させる。
 - f) パラメーター推定に利用する時間区間は過去3時間とする。この時間区間の設定は大気の状態が刻々変動することを考えて定めた。
 - g) 風速、風向の日変化が正しく予測されるものとする。
- 汚染濃度予測計算は次の3つの式から行なう。

$$C_T = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{n_1}{\theta \alpha_j} \sum_{j=1}^{16} \frac{\Delta \tau_j}{\tau_j u_j} \left\{ \sum_{i=1}^{N_j} \frac{\varepsilon_{1j} Q_{Aij} (t - \tau_{hij})}{x_E^{1+\nu}} + \sum_{i=1}^{M_j} \frac{\varepsilon_{ij} Q_{pij} (t - \tau_{hij})}{x_{ij}^{1+\nu}} \right. \\ \left. \times \exp \left(- \frac{h_{pij}^2}{2 \alpha_x^2 \tau_j^{2\nu}} \right) \right\} \quad 6-2$$

$$\frac{d\hat{C}}{dt} = \gamma \left(\frac{C_T}{\xi} - \hat{C} \right) + \frac{Q_{In2}}{z} - 0.47w\hat{C} \quad 6-3$$

$$P.I. = \sum_{i=1}^3 \{ \hat{C}(t_i) - C_{\text{obs}}(t_i) \}^2 \longrightarrow \text{minimum} \quad 6-4$$

ここで $\alpha=0.123$, $\nu=0.84$ である。

濃度の推定を行なった地点はセンター局であり、日時は昭和43年12月4日と13

日である。13日の気象条件と硫酸化物の汚染濃度の観測値を Table 2-12 に示す。式 (6-2) による C_T の計算に際しては、風速、風向の1時間平均値を使っている。この C_T を式 (6-3) に代入し、式 (6-4) によって γ と ξ を求めた。 γ は Fig.2-16 に、 ξ は Fig.2-17 に示される。これらの2つのパラメーターの値は図でプロットしている点を中心に ± 1.5 時間、計3時間の平均値として得られる。いずれも午前 6-8 時頃から増加し、日中は大きな値となり、17-18 時頃から減少する傾向がある。ただしその午前3時と22時の値は前後の値とかけ離れているが、これは式 (6-4) で同時に2つのパラメーターを推定するため、得られるパラメーターの値が不安定になり易いことによって生じたものである。 γ と ξ の推定値の例外的な変動を除いた結果から日中の大気の乱れと混合が夜間のそれに比して大きいことが推定される。適応パラメーター λ を推定すると Fig. 2-18 となった。この λ の値は気温の鉛直分布によって定まる大気安定度の影響を強く受ける。 λ の変化から午前10時頃が最も大気が温度成層上不安定になる時期で、午前4-6時が最も安定な時期であることがわかる。これは現象的に見た場合1日中晴れた日の大気安定度の一般的な変化パターンとよく一致する。

以上の結果によって求めた6時間先までの濃度予測計算結果を示すと、Fig. 2-19 となった。一方決定論的な手法によって求めた6時間先までの濃度予測計算結果を示すと Fig.2-20 となった。ここで決定論的な方法によって計算する場合 $\lambda=1.0$ で γ を式 (6-1) で ξ を次式 (6-5) で与えた。式 (6-5) は一応 ξ と風速の関係を最小二乗法によって求めたものであるが、ばらつきはきわめて大きい。

$$\xi = 0.828u + 0.406$$

6-5

これら2つの手法による計算の結果を見ると、温度成層の変動による大気安定度に急激な変化が現われる午前中から正午にかけては、決定論的な計算法による結果が実測値に近い値を予測する傾向を持ち、13時頃以後の大気安定度があまり変化しないときは、逆に適応論的な方法による結果が実測値に近い値をとる。

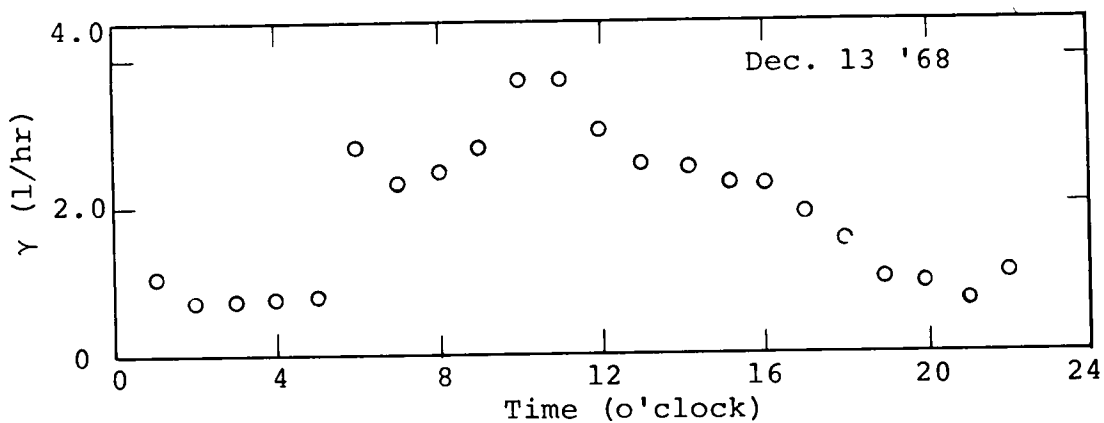


Fig.2-16 Estimated Values of Parameter γ

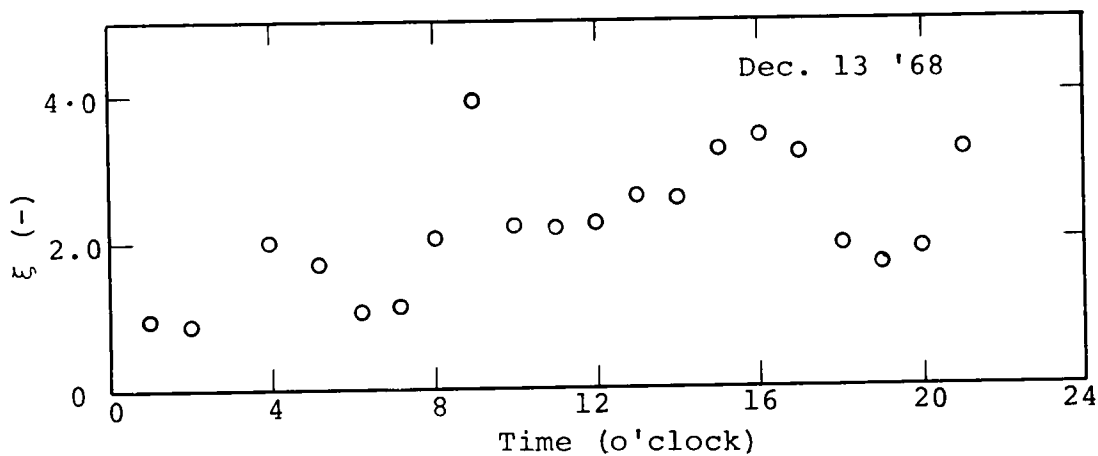


Fig.2-17 Estimated Values of Parameter ξ

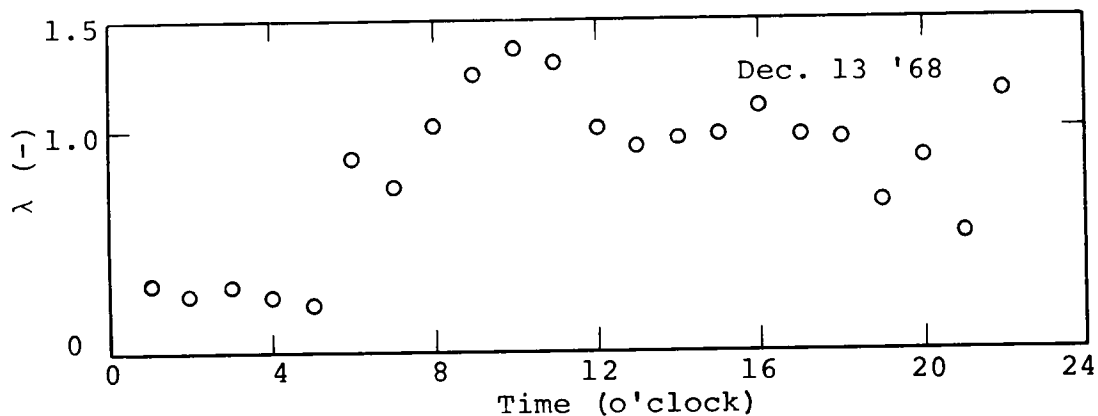


Fig.2-18 Estimated Values of Adaptive Parameter λ

Table 2-12 Meteorological Conditions and Pollution Level on Dec. 13 '68

Time (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperature (°C)	13.8	13.7	13.2	13.2	13.1	12.8	12.4	12.1	13.0	12.8	12.2	12.2
Wind speed (m/s)	3.2	3.3	1.8	1.8	2.7	3.1	3.6	2.2	2.6	2.0	2.6	3.0
Wind direction	15	16	15	15	15	15	16	16	1	1	15	15
Concentration SO _x (ppm)	0.08	0.07	0.06	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.11	0.11	0.11
Weather	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	⊕	⊕	☉	☉	☉
Time (hr)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Temperature (°C)	13.0	13.0	12.4	12.7	11.1	10.4	9.5	8.8	8.4	8.1	8.1	8.4
Wind speed (m/s)	2.5	3.0	2.2	2.1	2.2	1.4	1.7	1.2	0.9	0.5	0.9	
Wind direction	15	15	15	1	1	1	1	1	16	2	5	
Concentration SO _x (ppm)	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.11	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14
Weather	⊕	☉	☉	☉	☉	⊕	☉	☉	☉	☉	☉	☉

いずれの手法とも 計算値が実測値に合わない理由は、主にパラメーターの推定にそれらパラメーターの値の変動に大きな作用をする要因である温度成層の変化を加えなかったことによる。決定論的な手法ではその要素が γ や ϵ の決定式に存在する誤差として作用するが、適応論的な方法では、その要素は不確定要素として逐次 λ の推定量に作用する。したがって午前中におけるように温度成層の変化が激しい場合、丁度大気安定度が逆のときの λ の推定値を使うことになり、そのため汚染濃度の予測値が実測値とはすれるのである。しかし午後のように大気安定度の変動が時間的に緩やかなときの γ の推定、すなわち濃度予測には決定論的な方法よりも効果が現われている。Fig.2-21 は12月4日について行なった濃度予測値を示す。いずれの図も破線が予測値で、 \bullet 印は予測計算の出発点を示す。計算結果からは いずれの方法が良いか、その優劣を判断することは難かしいが、温度成層の状態によって決まる大気安定度を γ と ϵ の推定を行なうとき活用するようになれば、風速や大気安定度などでは表わし切れない不確定要素を考慮するという観点から適応論的な方法は有効な予測手段となろう。

2-2 パラメーター推定に温度要素を考慮した場合

気温の上昇や冷却の現象は 大気の混合力を決める因子となり、大気汚染に与える影響は大きい。このことは前小節の汚染濃度予測結果からも明らかである。第2章第2節では風速と気温のプロファイルがわかっている場合の実用的な大気の混合拡散係数を求める方法を論じたが、大阪では気温プロファイルが測定されていないので使用することができない。そこで地表面気温のデータを使用してパラメーターを推定し、汚染の予測を試みた。濃度計算に必要な条件を次のように設定する。

- a) $z = 150\text{m}$,
- b) 風速分布の指数法則を使い 指数を $\beta=0.4$ とする。
- c) $k=0.47w \quad 1/\text{hr}$,

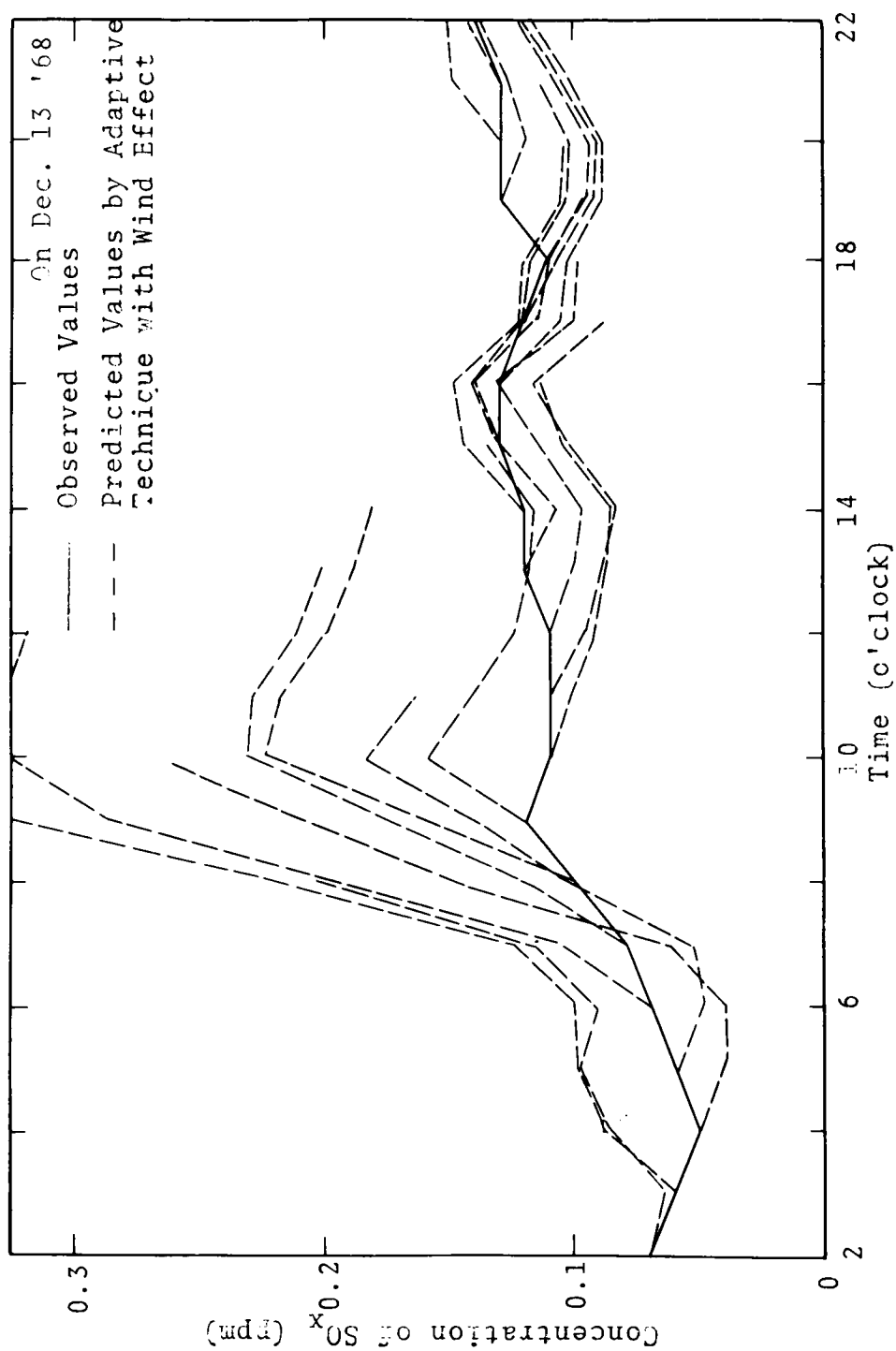


Fig.2-19 Predicted SO_x Concentration of 6 hours in Advance by Adaptive Technique

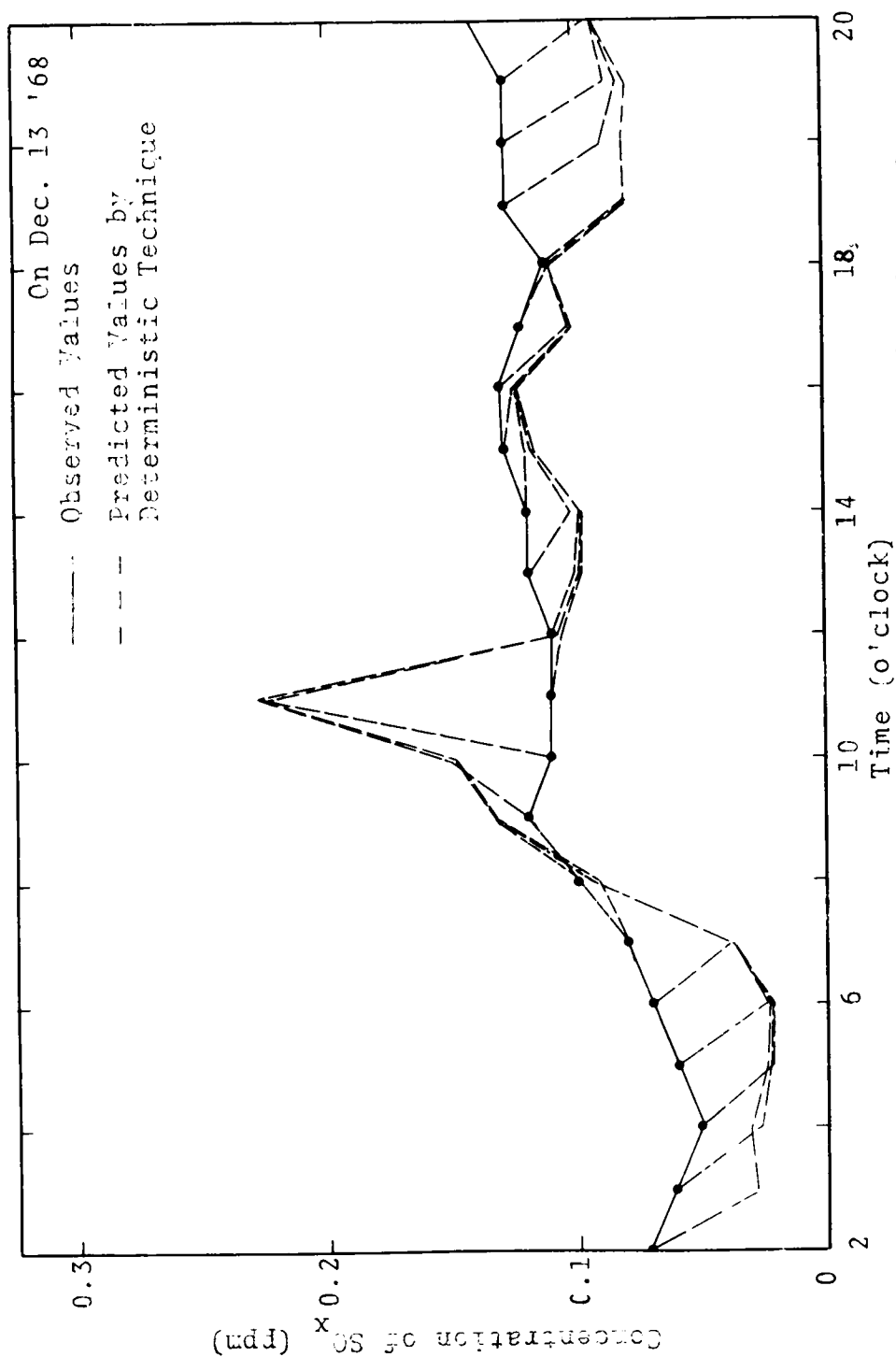


Fig.2-20 Predicted SO_x Concentration of 6 hours in Advance by Deterministic Technique

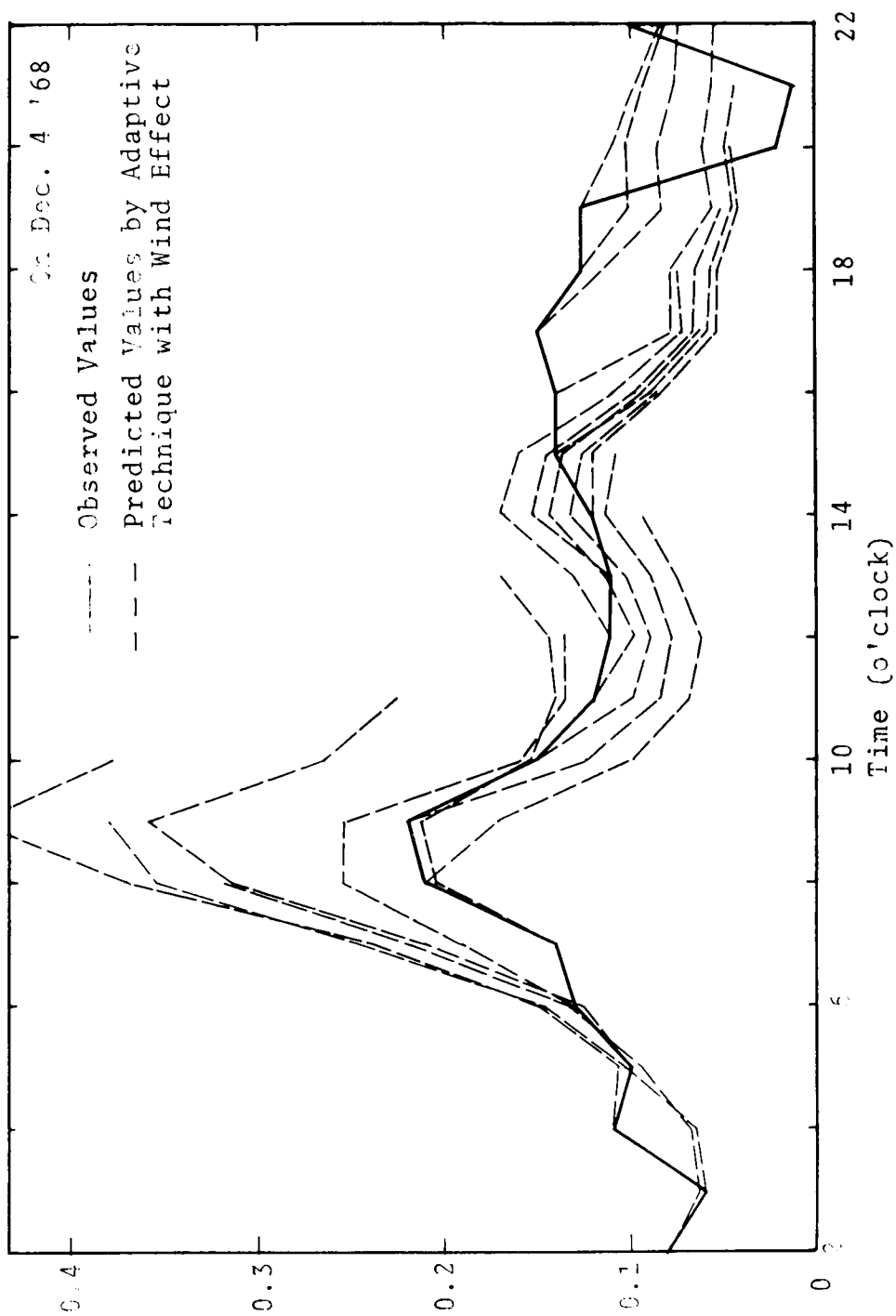


FIG. 2 21 Predicted CO_x Concentration of 6 hours in Advance by Adaptive Technique

d) γ の定式は式 (4-9) を利用する。

$$\gamma = -7.79 + 0.96u + \frac{0.234}{u} T' + 11.01 \exp(0.2 \frac{dT'}{dT}) \quad 6-6$$

上式全体に λ_1 を乗じ、その λ_1 を適応的パラメーターとする。

e) ξ の値は式 (4-5) から求める。

$$\frac{1}{\xi} = 0.640 - 0.054u - 0.035 \frac{1}{u} \frac{dT'}{dT} \quad 6-7$$

上式全体に λ_2 を乗じ、その λ_2 を適応的パラメーターとする。

f) パラメーター 推定に利用する時間区間は過去 3 時間となる。

g) 風速、風向、地表気温の日変化が正しく予測されるものとする。

以上の条件を使って前小節で行なった日と同じ12月13日 について汚染濃度の予測計算を行なった。Fig.2-22 はその結果を示す。Fig.2-22 をFig.2-19 と比較すると、Fig. 2-22 の予測値が実測値に相対的に近い値をとっていることが分る。Fig. 2-23 は12月4日の予測値を示すが、この日の結果を同じ日のFig.2-21 と比較すると Fig.2-23 の予測値が実測値に非常に近い値をとることがわかる。このような2日間についての予測値から前小節で気温の影響を無視して濃度を求めた結果よりも気温の影響を考慮した結果の方がはるかに実測値に近い値を予測することが分る。しかし 式 (6-7)、式 (6-6) の重相関係数は低い値をとるので 式の改良なしに予測の精度を高めることは不可能である。

第3節 広域拡散パラメーター導入による濃度予測

これまで扱ってきた適応論的方法による汚染濃度計算法では、2つのパラメーターを同時に推定し、その値を使って計算を行なったのであるが、この方法による最大の欠点は推定したパラメーターが時刻によってランダムに変動し易いこと

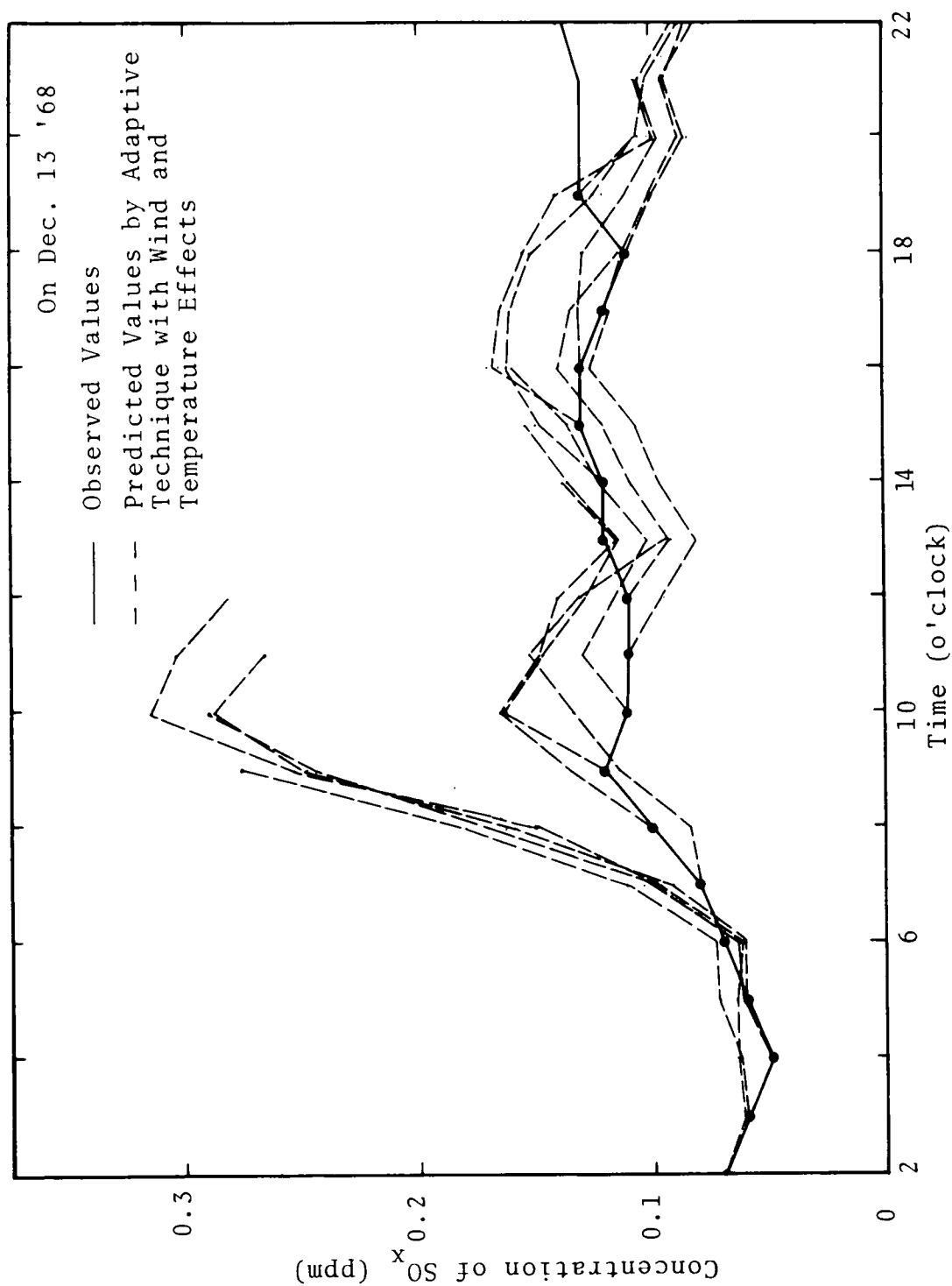


Fig.2-22 Predicted SO_x Concentration of 6 hours in Advance by Adaptive Technique

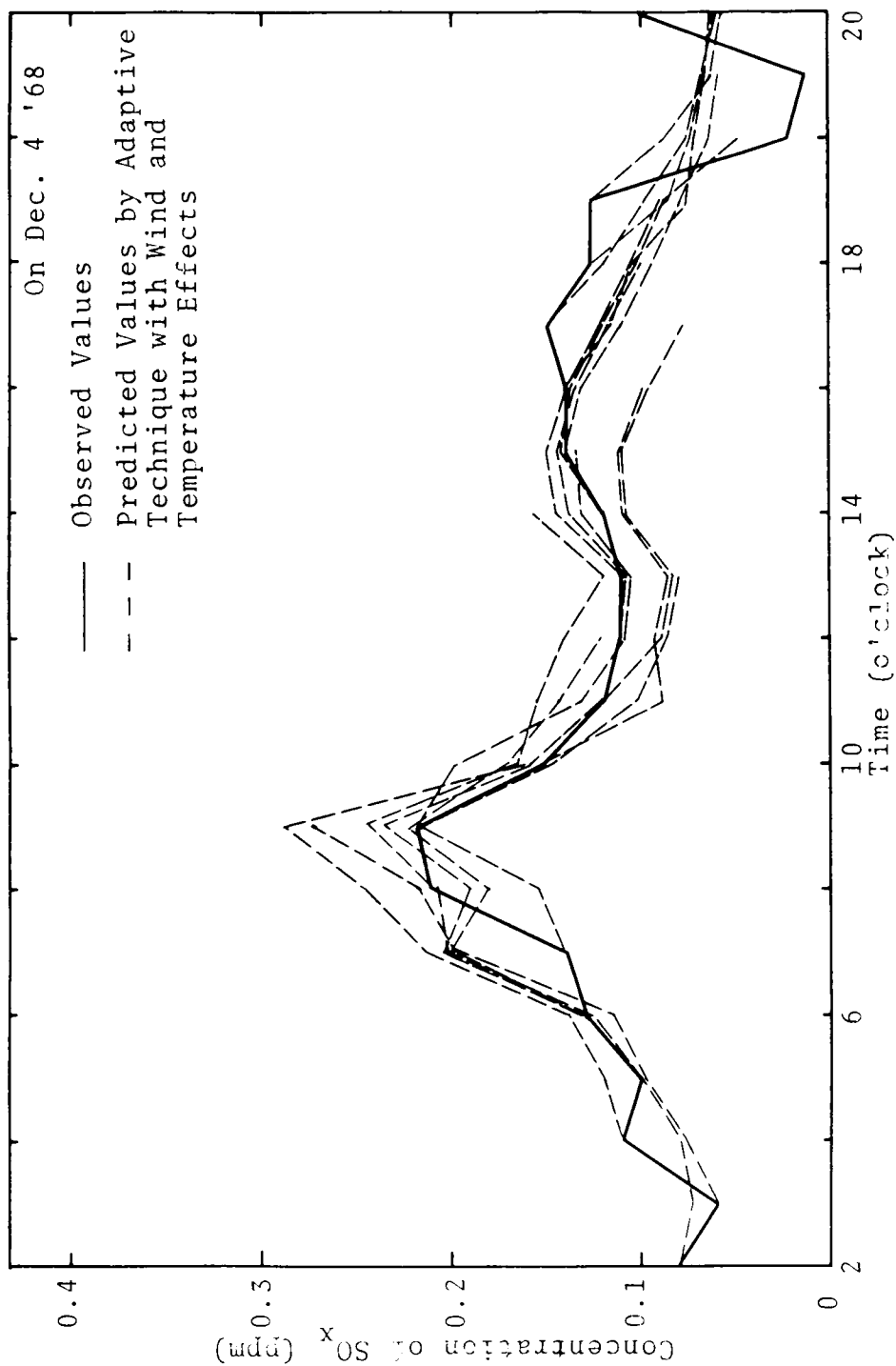


Fig.2-23 Predicted SO_x Concentration of 6 hours in Advance by Adaptive Technique

である。したがって何らかの方法でパラメーターを高い精度で推定できる定式を開発することが予測計算にもっともよい結果をもたらす。

都市域の汚染では多くの排出源の重ね合わせによることを特徴としているため、局地汚染濃度といえどもその汚染に寄与している汚染物質の伝播過程は都市の幅に匹敵する広域的なスケールの大気の混合度の影響を受ける。米国の諸都市で採用しているように(74)、天気局が行なう米国全土にわたる広域汚染ポテンシャル予報の値を都市の局地汚染予報の計算に加える方法は合理的であるといえる。

そのような観点から本節では局地汚染濃度予測モデルのパラメーターを広域拡散パラメーターと関係づけた第5章の結果を利用して汚染濃度の推定を行なった。

3-1 汚染濃度推定計算法

濃度予測計算をするにあたって次のような気象要素が十分に予測できるものとする。

- a) 地表面の風向の1時間平均値と日変化 …… センター局の値
- b) 地表面近くの風速の1時間平均値と日変化 …… 広域平均値, センター局値
- c) 地表面の日射量の1時間値と日変化 …… 広域平均値
- d) 雲量の日変化
- e) 雨量の日変化

上記項目と関連して風向、風速には次のような仮定を行なった。

- a. 風向は地表面から上空数百mにかけて同一方位である。
- b. 風速プロファイルには指数分布法則が成り立つ。指数 β を0.4とする。

濃度推定計算には式(6-2)と式(6-3)を利用する。

式(2-13)式(3-77)から

$$\gamma = 0.0104 \frac{du}{dz} + \frac{1}{L_e z} \int_0^z u(z) dz \quad 6-8$$

式 (5-12) より

$$z = 0.169^{0.811} z \quad 6-9$$

式 (5-1) より

$$\xi = 0.000276 z^{1.4} \quad 6-10$$

式 (2-8) より 風速の鉛直分布

$$u(z) = u(15) \left(\frac{z}{15} \right)^{0.4} \quad 6-11$$

パラメーター z は 第1編第5章 Table 1-18 で示した回帰方程式から推定する。式 (6-3) は パラメーター γ, ξ, w および Q_I, C_T が 単位時間 Δt の間一定値をとるものと考えるならば 次のように変形される。

$$C(t+\Delta t) = C(t) \exp[-(\gamma+0.47w)\Delta t] + \frac{1}{\gamma+0.47w} \times [1 - \exp\{-(\gamma+0.47w)\Delta t\}] \left(\frac{\epsilon_1 Q_I n}{z} + \frac{\gamma C_T}{\xi} \right) \quad 6-12$$

今 $\Delta t = 1$ 時間である。適応論的パラメーターを導入する場合、そのパラメーターは短時間に簡単に求められることが要求される。本節では式 (6-12) の右辺第2項にパラメーター n を乗ずることによって、 n をパラメーター z と ξ を同じ割合で補正する適応パラメーターとした。

昭和43年12月の日曜日と27日以後を除くほとんどの時刻ごとの $n(t)$ を濃度実測値から推定し、その全日の値を時刻ごとに平均化すると、Fig. 2-24 の如く1日を周期とした曲線となった。この1日の変動は周期性を持つ。これは第1にシステマティックな数式モデルが持つ誤差と、第2に排出量のデータの誤りが考えられるが、その原因が何によるかを明らかにすることができなかった。

各時刻での η の平均値を $\eta_0(t)$ とすると、夜間のそれらは日中のそれらよりも 2-3 倍 大きな値をとる。また夜間の平均値の周囲の変動量は日中のそれよりも大きくなる。例えば $\eta(3)$ の $\eta_0(3)$ のまわりのばらつきの標準偏差は 1.08 (サンプル数 16 個), 日中 12 時での標準偏差は 0.253 (サンプル数 20 個) 20 時でのそれは 0.458 (サンプル数 20 個) で各時刻の $\eta_0(t)$ で標準偏差を除すると 3 時は 0.356, 12 時は 0.316, 20 時は 0.358 となるので 新たに

$$\eta'(t) = \frac{\eta(t)}{\eta_0(t)} \quad 6-13$$

とあき 適応パラメーターを平均値 $\eta_0(t)$ と $\eta'(t)$ に分離し, $\eta'(t)$ で示されるような各時刻によって異なる変動量の絶対値の大きさを除いた形のパラメーターを設定した。このような方法による適応予測の計算は一種の周期法にあたる。

$\eta'(t)$ は次式を満足するような量で与えられた。

$$P.I. = \sum_{i=1}^m \{ \eta(t-t_i) - \eta_0(t-t_i) \eta'(t) \}^2 w_t(t-t_i) \quad 6-14$$

→ minimum

ここで単位時間区間は 1 時間であり $m=6$ とした。 $w_t(t-t_i)$ は重み関数を示

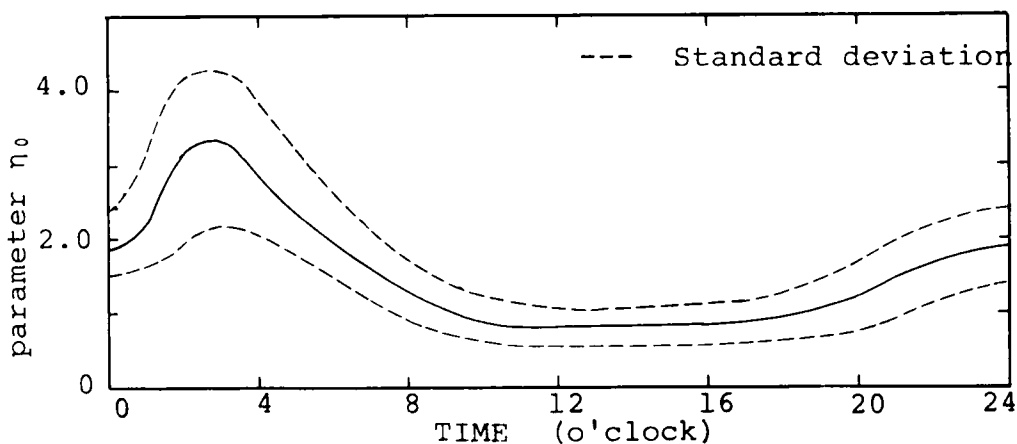


Fig.2-24 Periodic Variation of Parameter $\eta(t)$

すが t を現在 t_i を i 時間前の時刻とすると

$$W_t(t-t_i) = s^{t-t_i} \quad 6-15$$

$s=1.0$ であることは 6 時間前から現在までの $n(t)/n_0(t)$ の値に均等な重みをかけて $n'(t)$ を式 (6-14) から推定することに相当し、 $s \neq 0.0$ であることは最も近い過去の時点 で得られた $n(t-1)$ のみを考慮することを意味する。

3-2 計算結果および考察

濃度を計算するためには重み関数式 (6-15) で s を適当に定める必要がある。 s を 0.0, 0.5, 0.9, 1.0 の 4 段階に設定してそれぞれの濃度計算値を求め次式で示されるような計算値の実測値のまわりの無次元標準偏差を求めた。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\hat{C} - C_{obs}}{C_{obs}} \right\}^2} \quad 6-16$$

Fig.2-25 の実線は各予測時刻での σ の値を示している。同図中の曲線に付けられた数値は重み関数式 (6-15) で設定した s の値である。

Fig.2-25 によると s が小さいほど 現時点からごく近い将来の濃度予測値の誤差を小さくするが、逆に長時間先の予測を行なうと予測値の誤差が大きくなることを示している。 $s=1.0$ のときは誤差は予測時間が異なってもあまり変動しなくなることを示している。

このような計算結果から 短時間先の予測には最近の短時間に推定した適応パラメーターの値を重視し、濃度予測をする時間が長くなるほど過去長時間にわたって推定した適応パラメーターの値を重視して得た合成された適応パラメーターを使えば、予測値の精度を高めることがわかる。とくに 5 時間先以後の予測に n を決定論的に与えてもよいことを示す。

濃度の予測は 8 時間先まで行なったが、式 (6-16) で定義された標準偏差を

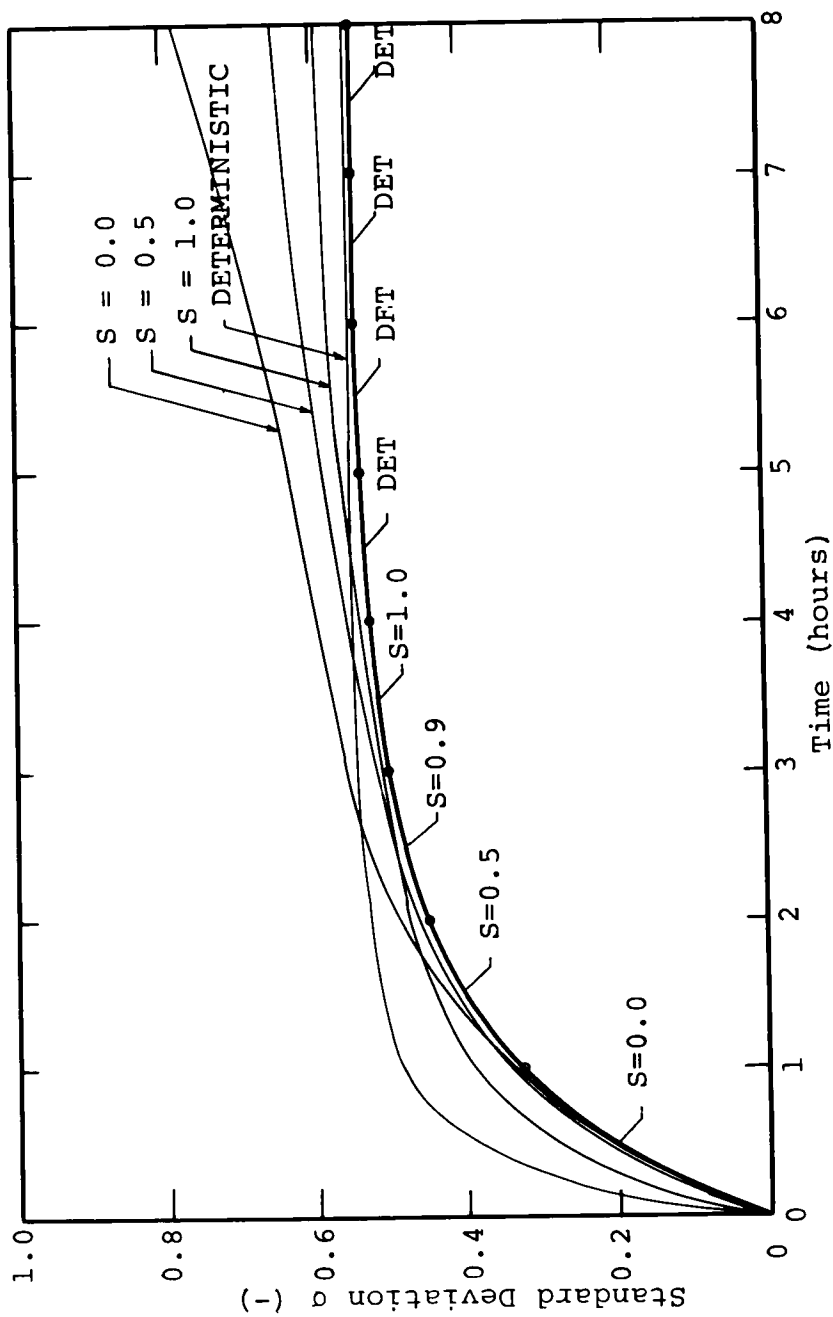


Fig.2-25 Standard Deviations around Normalized Observed Values of Predicted Concentrations SO_x of 8 hours in Advance

小さくするため、 s の値を予測時間に応じて刻々変動させて求めた結果を Fig. 2-26の太い実線で示す。ここで s の値は予測時間に応じて次のように与えた。

$$\begin{array}{lll}
 C_{\text{obs}}(t) & \longrightarrow & \hat{C}(t+1) \quad : \quad s=0.0 \\
 \hat{C}(t+1) & \longrightarrow & \hat{C}(t+2) \quad : \quad s=0.5 \\
 \hat{C}(t+2) & \longrightarrow & \hat{C}(t+3) \quad : \quad s=0.9 \\
 \hat{C}(t+3) & \longrightarrow & \hat{C}(t+4) \quad : \quad s=1.0 \\
 \hat{C}(t+4) & \longrightarrow & \hat{C}(t+5) \quad : \quad n'=1.0 \\
 \hat{C}(t+5) & \longrightarrow & \hat{C}(t+6) \quad : \quad n'=1.0 \\
 \hat{C}(t+6) & \longrightarrow & \hat{C}(t+7) \quad : \quad n'=1.0 \\
 \hat{C}(t+7) & \longrightarrow & \hat{C}(t+8) \quad : \quad n'=1.0
 \end{array}$$

このようにして毎時刻に8時間先まで計算した濃度のうち6時間先のものを実測濃度と比較するため図示すると Fig. 2-26 となる。6時間先の濃度予測値は5時間先の濃度予測計算値を初期値として適応パラメーター n を決定論的

($n'=1.0$) に与えて計算したものであるので、初期値の影響を少し受ける以外は決定論的な計算結果に近い値をとるものと推定される。それは8時間先の濃度予測計算値に近い値をとることから確かめられた。同図は行なった予測計算のうち12月4-7日、11-14日のものである。12月5日の濃度予測値と実測値にうまく一致していないが7日、12日の予測値は実測値と比較的よく一致している。

Fig. 2-27 は2時間先の濃度予測値と実測値を示したものであり、プロットは原点を通る勾配1の直線のまわりに無次元標準偏差 0.46でばらついている。

Fig. 2-28 は4時間先の濃度予測値と実測値を示したものであり、原点を通る勾配1の直線のまわりの無次元標準偏差 0.54である。

パラメーター n_0 は12月の20日間にわたって推定した n の値を時刻ごとに平均したものであるにもかかわらず、同じ月日の濃度予測計算に使っている。したがって本節で行なった予測計算の結果は厳密な意味での濃度予測の結果ではないが、予測を行なうときにそのとき以前、例えば過去数十日にわたる情報から求めたパ

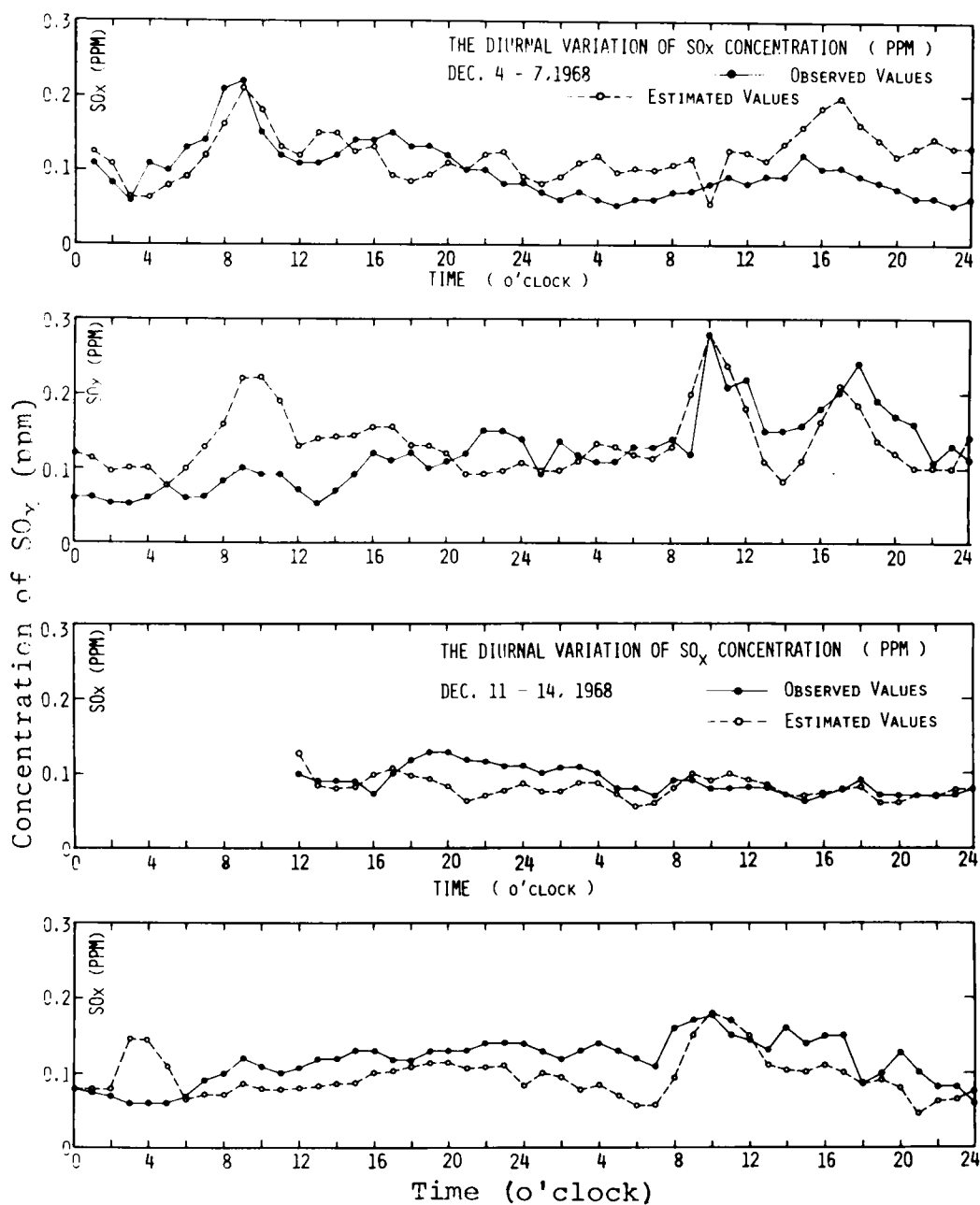


Fig.2-26 Diurnal Variation of SO_x Concentration

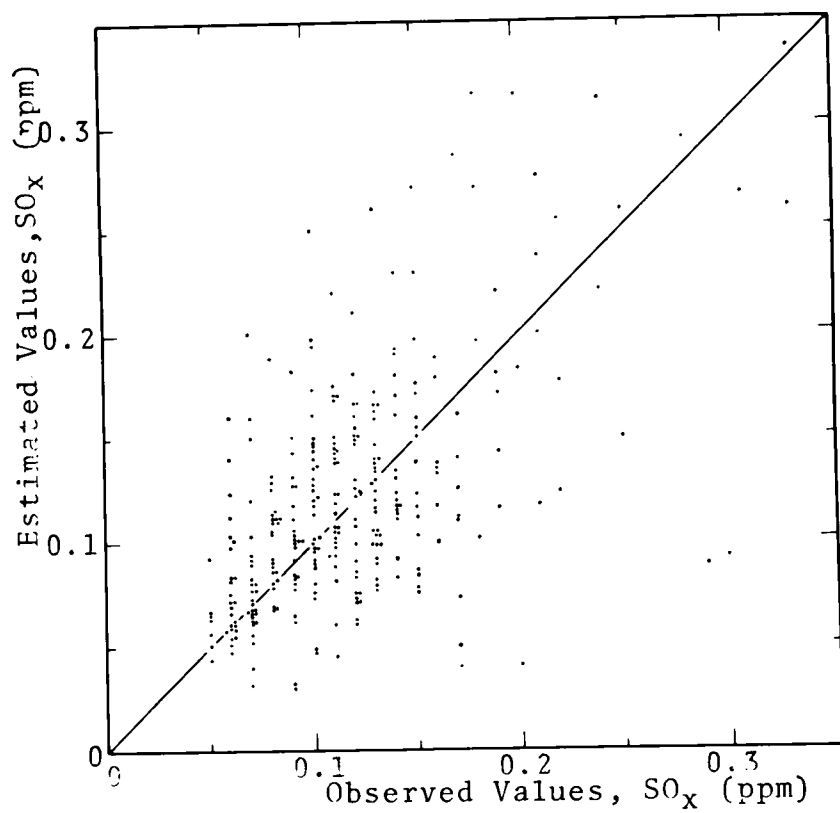


Fig.2-27 Relation between Observed and Estimated Values of Hourly Average SO_x (ppm) of 2 hours in Advance

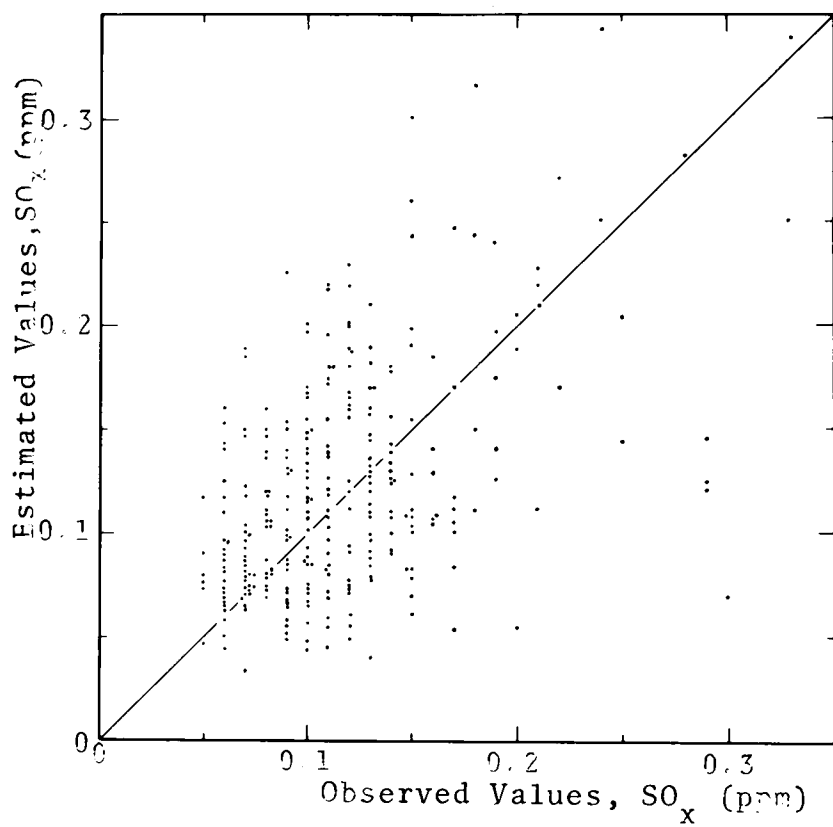


Fig.2-28 Relation between Observed and Estimated Values of Hourly Average SO_x (ppm) of 4 hours in Advance

パラメーター n_0 を使用して予測計算をしてもその平均化したデータの数が多いため、前者の結果とほとんど変わらないものと考えて差しつかえないと見なした。

第4節 要約

適応的に変動するものと見なしたパラメーターが、ある簡単な法則性たとえば持続性、傾向性を持たなければ同パラメーターを使って行なう将来の濃度推定に適応的な方法による効果を上げることが期待できない。その法則性を持たせるためには短時間のうちに変動しパラメーターに多大な影響を与えると考えられる要素を、それがたとえ不適当な部分を多くもっていても、できるだけ決定論的な定式に組み込むことによって確定的な量として扱うことが必要となる。

第2節2-1の計算結果Fig.2-19,21は大気安定度が大気混合に大きな作用をするにもかかわらず、それを不確定要素として適応パラメーターに含めて行なった例であるが、この結果からも明らかなごとく午前中の実測値と予測値との間の誤差は、大気安定度を無視して行なった決定論的な方法による結果Fig.2-20よりもかえって大きくでている。一方第2節2-2の計算結果は地表面気温を大気安定度を評価する間接的な尺度である確定要素として扱ったので、Fig.2-22,23はFig.2-19,21の推定値よりも精度が高くなっている。

以上の結果から適応論的な方法で汚染濃度を推定するとき、決定論的に扱っているパラメーターを求める最適な気象要素の種類が推定値の誤差を最小にするという目的のもとに存在することがわかる。これを模型図で示すとFig.2-29となる。また前にあげた幾つかの方法による汚染濃度予測結果から次のようなことが言えよう。

- i) 1時間平均濃度を連続的に非定常で計算することが可能になった。
- ii) 大気安定度、気象要素でいうならば気温、風速の鉛直分布が測定されるようになれば、汚染濃度の予測はその精度を高めることができる。
- iii) データ記録の関係でこれまでに利用した風向、風速のデータは1時間平均

値であった。したがって式(6-2)で風配を表わす $\Delta \tau_j / \tau$ の項の効果が C_T の計算結果に十分現われていないので推定した C_T の値が滑らかに変化しない場合があり、パラメーターの推定にその影響が現われている。そこで1時間に10分ごと6個のデータを使用できるようになれば、 ε や γ の推定値の刻々の変化も安定するようになるであろう。

第2節で行なった濃度予測計算の結果と比較して、第3節で求めた濃度予測値はその精度を高めることができた。その理由としては

- i) パラメーター ε と z を広域拡散パラメーター z の値から決定論的に与えた。
- ii) パラメーター γ を風速の関数として決定論的に与えた。
- iii) 新しく適応パラメータ η を導入し、それによってパラメーター ε と z を同じ割合で適応的に修正した。
- iv) 推定したパラメーター η の値が持つ特性から η を η_0 と η' に分解した。そのうち η_0 を定式が持つ誤差と排出源データの誤差によってできたであろう1日を周期とする変動量と考え決定論的に数値を与えた。そして η' に適応性をもたせた。

短時間の汚染濃度や気象のデータを使って適応パラメーターを推定するとき注意せねばならないことは、その実測値が誤差を含むことである。その結果推定したパラメーターの値が前時刻の値と比較して極端に異なる値をとることがある。このようなパラメーターの異常な値の利用は濃度予測値に異常な誤差を生ずる。したがって過去に推定した幾つかのパラメーターを平均化することが有効であろう。

予測値の精度をあげるには数式モデル中の諸パラメーターを決定する定式を気象要素と最も相関の高い式に改良する必要がある。その他に次のようなことを解決せねばならない。

- i) 循環する大気による再汚染の評価
- ii) 局地気象条件、例えば海陸風の交換時のメカニズムの解明

iii) 巨大点源の有効煙突高度の計算

なお、汚染濃度、気温および風速の鉛直分布が測定できるようになれば、パラメーター z や γ , ϵ の詳細な検討が可能になり、数式モデルの改良に非常に役立つものと思う。

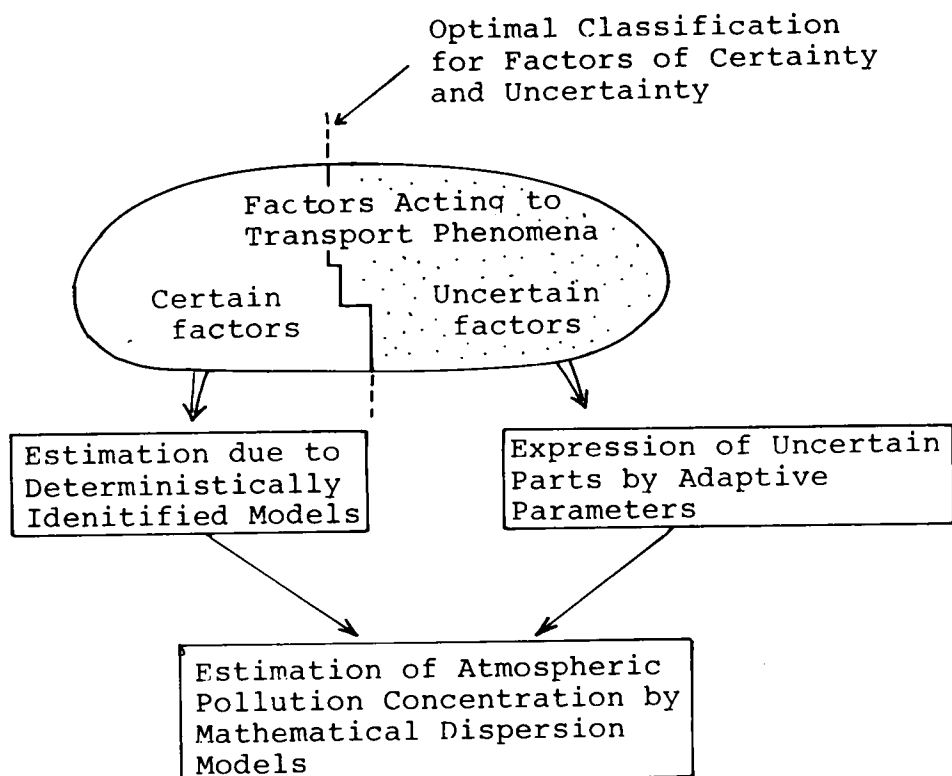


Fig.2-29 Procedure of the Optimal Adaptive Prediction of Pollution Level

記号表

$\hat{C}(t_i)$: 時刻 t_i の汚染濃度計算値	(ppm)
$C_{obs}(t_i)$: 時刻 t_i の汚染濃度実測値	(ppm)
C_B : 混合槽外から水平伝播してくる汚染濃度, $\xi=1$ のとき C_T で表わす.	(ppm)
h_{pij} : j 方位にある i 汚染源の煙の排出高度	(m)
K : 時刻	(o'clock)
n_1, n_2 : 単位換算係数	
Q_I : 混合槽内の単位面積当りの排出強度	($m^3/m^2/hr$)
Q_{pij} : j 方位にある i 点汚染源の排出強度	(m^3/hr)
Q_{Aij} : j 方位にある i 面汚染源の排出強度	(m^3/hr)
s : 適応パラメーターを推定するときの重みを表わす係数	
T : 気温	($^{\circ}C$)
T' : ある時刻の気温をその日の平均気温から差し引いた値	($^{\circ}C$)
u_j : j 方位から吹く風の平均風速	(m/sec)
W_t : 適応パラメーター n を推定するための重み関数	
x_{Eij} : j 方位にある i 面汚染源を線源にしたときの均等距離	(m)
x_{ij} : j 方位にある i 点汚染源と観測局との距離	(m)
Z : 広域の混合槽高度	(m)
z : 局地混合槽高度	(m)
α, v : 係数, $\sigma_z = \alpha x^v$	
γ : 混合パラメーター	(1/hr)
ϵ_1 : 面汚染源の燃料中の硫黄含有率	
ϵ_{ij} : j 方位の第 i 点汚染源の燃料中の硫黄含有率	
$n(t)$: t 時に求めた適応パラメーター	
$n_0(t)$: 推定した $n(t)$ を時刻ごとに平均化した値	

- θ : $2\pi/16$ デジアン 扇形角
 λ : パラメーター γ を推定するときの適応パラメーター
 ξ : 水平伝播パラメーター
 τ : 風配を求めるときの期間 (hr)
 $\tau_{hi j}$: 汚染源からでた煙が観測点上空に到達するまでに要する時間 (hr)
 $\Delta\tau_j$: 方位から吹く風の頻度
 σ : 濃度の計算値の実測値に対する無次元標準偏差
 σ_z : 煙の鉛直方向の広がりを示す標準偏差 (m)

第7章 他の数式モデルとの比較, 検討

第1節 概説

都市域の局地汚染濃度の計算は、従来 Sutton の公式や、Pasquill が使った公式を変形したものを使って行なわれる場合が多い。そのうち 最もよく使われている定常拡散公式は Pasquill の大気安定度分類に基づく正規分布を仮定した式である。

定常拡散公式を使うとき 定常状態を表わすという公式が持つ根本的な特徴によって、長時間にわたって求めた風配、風速、大気安定度、汚染物質排出量の情報を使い、数時間、1日ないしは 1ヵ月間の平均汚染濃度を求める場合、あるいは風向、風速、排出量が急激に変化せぬ期間の排出源から数 km 風下の濃度を求める場合が多い。

本章では 都市域の 1 時間平均濃度を Pasquill の式を修正した Pooler (59) と同じ方法によって推定し、それを実測値と比較する。そして本論文で提案した 局地汚染濃度推定モデルの結果と比較する。

第2節 煙の広がり に正規分布を仮定した定常拡散公式の適用

大阪地方では情報として Table 2-5 にあげたように、16 方位区分による風向データ、0.4m/sec 以上の風速データ、付録の Table 2-A-3 に示した排出源データがある。このような情報を利用するので、次のような簡単化と条件設定および定常拡散公式の変形を行なった。

- a) 煙源の主風向風下軸を含む $2\pi/16$ ラジアン の扇形内では、煙源からの距離の地点で濃度が均一である。
- b) 風向の短時間の変動を考慮して 風向頻度を計算に入れる。
- c) 煙源からの風下距離 x によって定まる拡散パラメーター σ_z は 図から求めるのではなく、定式化したものを使用する。したがって $x > 2\text{km}$ のとき Fig.2-7

に基づいて定式化した Table 2-6 の関係式を、 x が $0.5\text{km} < x < 2\text{km}$ のときは Table 2-13 の関係式を利用する。

- d) 点汚染源と濃度計算点からの半径 2km 以上離れた面汚染源は第 4 章第 2 節と同じ扱いとする。それらのデータは付録の Table 2-A-3 にあげている。
- e) 濃度計算地点から半径 2km 以内の面汚染源は、排出強度が均一であるものとして、計算には半径 500m 以遠のみを対象とする。
- f) 面汚染源の排出高度は 0 とする
- g) 濃度計算地点から半径 2km 以内にある排出源については煙の到達時間遅れを考えず、各時刻の濃度はその時刻に排出した汚染物質によるものとする。
- h) 風向は濃度計算地点で実測された値、風速は広域の平均値を指数分布法則の式に代入して求めた地上 80m での値を拡散公式の分母の風速値に使う。
- i) 大気安定度の判定は広域の平均風速の値と、大阪管区気象台における雲量、日射量のデータを使用する。
- j) 硫酸酸化物濃度への換算は標準状態を仮定し、重油の比重を 1.0 とする。
濃度計算地点から 2km 以遠の排出源に対して使用する拡散公式は第 3 章にあげた式 (3-66, 67, 68) である。

$$C_1 = \sum_{j=1}^{16} \sqrt{\frac{2}{\pi u_j^3 \alpha \tau}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_j} \frac{Q_{Aij}}{x_E^{1+\nu}} + \sum_{i=1}^{M_j} \frac{Q_{pij}}{x_{ij}^{1+\nu}} \exp\left(-\frac{h_{ij}^2}{2\alpha^2 x_{ij}^{2\nu}}\right) \right\} \quad 7-1$$

濃度計算地点から 2km 以内の面汚染源に対して使用する拡散公式は

$$C_2 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_A}{u_j} \int_{500}^{2000} \frac{1}{\sigma_z} dx \quad 7-2$$

結局 濃度は 式 (7-1) と 式 (7-2) の和となる。

第3節 計算結果と考察および適応モデルとの比較

式(7-2)において 定積分の値は 各大気安定度に関して一定値をとる。

Table 2-14は 式(7-2)の定積分の値を示している。このような値を使って風速が 1m/sec のときに C_2 の日変化を求めると Table 2-15 となる。

Fig.2-30 は 12月3-7日, 10-14日の期間にわたる1時間の実測濃度と Pasquill の安定度分類に従って求めた計算値をプロットしたものである。横軸には実測値を, 縦軸には計算値を示す。拡散公式に利用した風速は 大気汚染監視局で測定された値を平均化した広域平均風速を $4^{0.4}$ 倍した値である。このような値を使用した理論的な根拠はないが, 煙の平均的な水平伝播高さが 50-60 m の高さであるものとの仮定によっている。この図からプロットは勾配 1 の直線からかなり離れて分散していることがわかり, 計算値が実測値とよく一致していないことを示している。とくに計算値が実測値よりもはるかに高くなる時が多い。Fig.2-31 は 計算値と実測値の日変化を示したものである。この図から次のような特性を知ることができる。

- a) 夜間にとくに計算値が実測値よりも高くなる。
- b) 大気安定度の分類が1段階変わると 濃度は不連続的に大きく変化する。
- c) A-F の6種類の分類のいずれにも属さない場合が非常に多い。

a) の原因には都市が田園地帯よりも都市の特性によって混合拡散力が大きく, とくに夜間にはその傾向が強いことがあげられる。分類法ないしは σ_z と風下距離の関係を都市域用に改める必要がある。c) については 例えば 12月3日の 23時から 4日の 8時までの間, 6日の 18時から 7日の 2時までの間が分類のいずれにも属さない場合にあたる。このような日時はとくに大気の安定な場合で, 事実上 Pasquill の分類法では濃度を推定することが不可能である。このような事実と無風状態で定常拡散公式が役に立たないことが, この公式の最も大きな欠点であるといえる。定常拡散公式ではとくに排出源高度, 有効煙突高度を正確に求めることが重要であるが, 都市域のように排出源が無数にあるとき, 個々の煙突

Table 2-13

0.5 km \leq X < 2 km	
Stability Categories	σ_z
B	$0.0587X^{1.09}$
C	$0.103X^{0.924}$
D	$0.180X^{0.712}$
E	$0.193X^{0.680}$
F	$0.130X^{0.676}$

Table 2-14

Stability Categories	$\int_{500}^{2000} \frac{1}{\sigma_z} dx$
B	12.6
C	27.5
D	56.5
E	66.4
F	77.8

Table 2-15 Estimated Concentrations for Each Category

Time (o'clock)	B	C	D	E	F
1	0.0209	0.0457	0.0938	0.110	0.129
2	0.0108	0.0237	0.0486	0.057	0.067
3	0.0088	0.019	0.0395	0.046	0.054
4	0.0123	0.027	0.055	0.065	0.076
5	0.0134	0.0292	0.0601	0.0706	0.0827
6	0.0140	0.0309	0.0634	0.0745	0.0873
7	0.0184	0.0402	0.0825	0.0970	0.1136
8	0.0411	0.0897	0.1844	0.217	0.254
9	0.0805	0.1757	0.361		
10	0.1138	0.248	0.560		
11	0.1099	0.2399	0.493		
12	0.1007	0.2197	0.451		
13	0.0920	0.2034	0.418		
14	0.0819	0.1788	0.367		
15	0.0964	0.2105	0.433		
16	0.0928	0.2026	0.406		
17	0.0875	0.191	0.393		
18	0.0725	0.158	0.325		
19	0.0580	0.127	0.261	0.301	0.359
20	0.039	0.086	0.176	0.208	0.243
21	0.033	0.073	0.150	0.176	0.207
22	0.031	0.067	0.138	0.162	0.190
23	0.028	0.061	0.125	0.147	0.173
24	0.024	0.053	0.109	0.128	0.150

Wind speed: 1m/sec

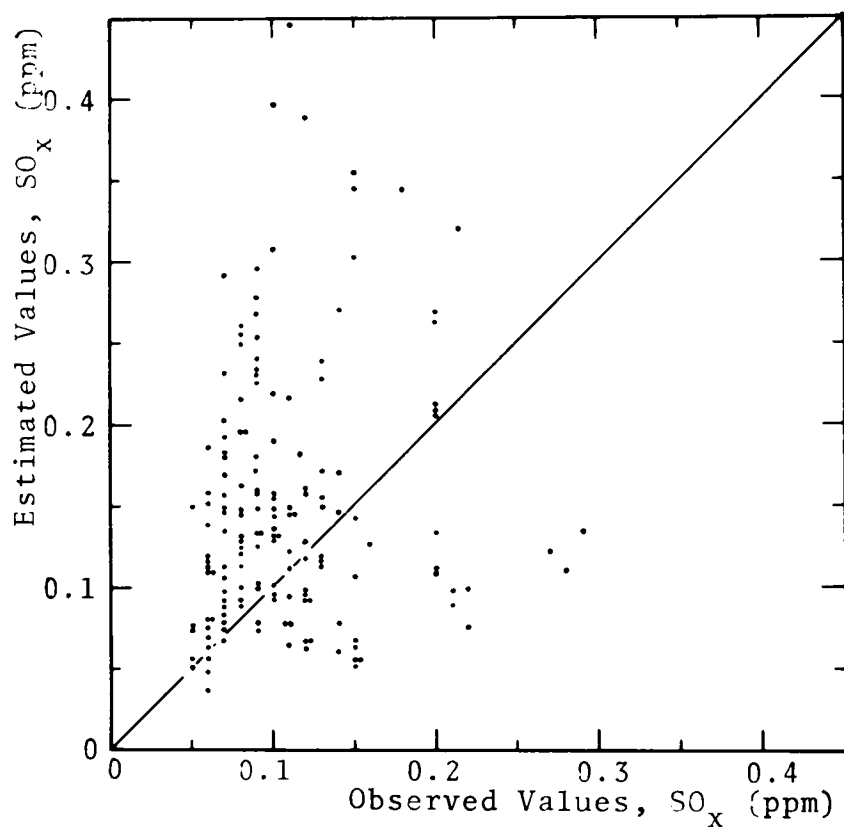


Fig.2- 30 Relation between Observed and Estimated Values of Hourly Average SO_x (ppm)

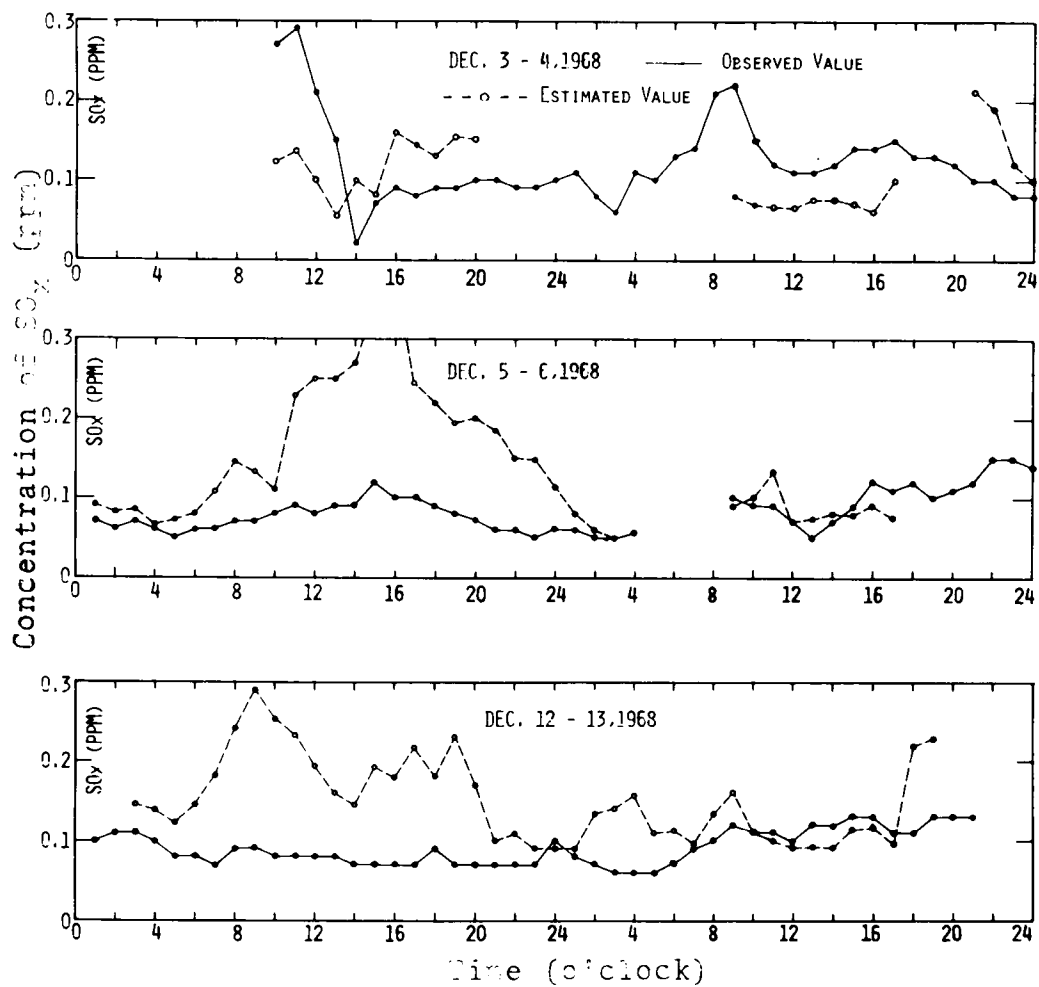


Fig.2-31 Diurnal Variation of SO_x Concentration

からの煙の突出速度，排ガスの温度のデータを得ることはほとんど不可能である。したがって排出源の高度は 1つの事業所に対して代表的な煙突の高さを与えざるを得ない。そこにも定常拡散公式で求めた濃度が実測値と一致しない原因の 1つがあるものと考えられる。本論文にあげた適応モデルと定常拡散公式の代表的な特徴をあげると Table 2-16 となろう。

Table 2-16 Features of Deterministic Plume Models and the Adaptive Model

	Deterministic plume model	Proposed model
1	When calm or not belonging any stability categories, it is impossible to estimate a concentration.	It is possible to estimate a concentration.
2	The model can not express an accumulation phenomena of pollutants.	As being quasi-unsteady, the model can express an accumulation phenomena of pollutants.
3	The model has no adaptivity for the topograph, sources and local meteorological conditions.	The model has adaptivities.

記 号 表

C_1	: 2 km 以遠にある排出源による汚染濃度	(ppm)
C_2	: 2 km 以内にある排出源による汚染濃度	(ppm)
h_{ij}	: j 方位にある第 i 点排出源の煙の排出高さ	(m)
Q_{Aij}	: j 方位にある第 i 面汚染源の排出強度	(m^3/hr)
Q_{pij}	: j 方位にある第 i 点汚染源の排出強度	(m^3/hr)
u	: 平均風速	(m/sec)
x_E	: 面汚染源を線汚染源になおしたときの均等距離	(m)
x_{ij}	: j 方位にある第 i 点汚染源の距離	(m)
α, ν	煙の鉛直方向の広がりを表わす標準偏差 σ_z を距離の関数で表わしたときの係数	
τ	: 風配を求めるときの期間	(hr)
$\Delta\tau_j$: j 方位から吹く風の頻度	(hr)

第 8 章 緊急時制御

第 1 節 概説

大気汚染濃度予測値が許容濃度を越えて高くなる時には排出量を抑制して未然に高濃度汚染を防止する方策をとる必要がある。大気汚染防止のための緊急時制御とはこのような抑制をいうが、制御を指令し、それを実行に移すに先立って種々の問題を解決せねばならない。これらは次のような項目である。

- i) 環境汚染濃度の許容限界の確立
- ii) 最適制御政策の確立
- iii) 汚染濃度の予測, 排出制御量の算出と 制御指令伝達, 実行の所要時間

制御方針はその汚染予測の面積スケールと時間スケールおよび精度、さらには制御政策決定に必要な評価関数の設定によって非常に大きく変わってくる。これらの関係は序文にある Fig. 1 で示されるが、今日まで行なわれてきた制御方法は同図中の第 1 段階である。本章では第 2 段階の制御を行なうアルゴリズムを示す。

第 2 節 制御計算のアルゴリズム

2-1 許容濃度の限界の設定

汚染の程度が低ければ低いほど好ましいことは言うまでもない。しかしながら汚染を皆無にすることは不可能である。そこで人々の健康を保持できることを絶対の前提とし、同時にその地域社会にとって不可欠な公共の活動、生産、工業、商業その他の活動の損害を最小に止めるという妥協点を見つけ汚染抑制方策を立てざるを得ない。

汚染レベルの抑制のための制御基準には汚染物質排出量を制限する立場からの排出基準、環境汚染濃度の制限を行なうための環境基準があるが、緊急時制御で対象としている基準は環境のそれである。環境基準は日本のみならず諸外国でも設定されているが、これら設定された基準は硫酸酸化物に対して Table 2-

17 に示される。ここで示された例からもわかるように 環境基準は

a) 1 時間平均値がある連続時間にわたって濃度のある限界値を越えない。

b) ある期間中の汚染濃度の積分平均値が許容濃度限界値を越えない。

c) ある期間中に 1 時間平均値がある回数以上許容濃度限界値を越えない。

等の基準設定方法がとられている。ここで一般に a) と b) は 0-24 時間のいわゆる短期の汚染を対象としているが、c) は半年、1 年のいわゆる長期間の汚染を対象としている。a, b) の大気汚染データをフィードバックさせ、気象などの要素を除くと、その結果は根本的な高濃度汚染防止計画の指針となる。

本論文では a) の制御を対象として、制御基準となる束縛条件を次のように与えた。

$$C_e(T), C_e(T+1) < C_{crit} \quad 8-1$$

ここで C_e は 1 時間平均濃度を示す。時間が t_0 時から t_0+6 時の間に濃度 C_e が許容濃度 C_{crit} を連続 時間以上続いて越えると予測されるときに制御の指令を出す。

2-2 制御の方法

個々の汚染物質排出源に一律でない制御を行なうことは 現在 次のような理由によって実際に行なうことが不可能である。

- i) 大都市では多数の排出源があるので制御の指令伝達の方法で制限がある、
- ii) 最適制御の評価関数が不明確である。
- iii) 予測は必ず誤差を伴うので 制御量を詳細に計算しても意味があるかどうか疑わしい。
- iv) 限られた地点の予測値だけから求めた制御最適値が予測点以外の所では満たされない。

そこで対象としている大阪地方に対して次のような制御方策を設定した。

- a) 制御の対象とする地域を幾つかの区割の規制区に分ける。この区割内の面

排出強度と点排出強度の総和量を規制の対象とする。(規制区割図を付録の Fig.2-A-1 に示す.)

- b) 汚染濃度予測地点から半径 2.0 km なる円の内部地域は同一区割に入るものとする。
- c) 水平伝播してくる汚染物質の時間遅れを考慮する。ただし 3 時間以内の時間遅れまでを対象とし、それ以上の遅れをもつ汚染物質に対しては無視する。
- d) 汚染物質の排出率は 抑制しない場合を 1.0 とし、0.8, 0.6, 0.4 の 3 段階の規制を行なう。
- e) 汚染濃度予測は 6 時間先まで可能で、2 時間先以後の排出規制ができるものとする。

濃度の計算は次式による。

$$C_{ei}(T) = C_{ei}(T-1) \exp\{-\gamma_i(T) - k(T)\} + [1 - \exp\{-\gamma_i(T) - k(T)\}] \times \left[\frac{\gamma_i(T)}{\gamma_i(T) + k(T)} \{C'_{1i}(T) + C'_{2i}(T) + C'_{3i}(T)\} + \frac{Q_i(T) \times R_i}{\{\gamma_i(T) + k(T)\} z_i(T)} \right] \quad 8-2$$

$$\begin{aligned} C'_{1i}(T) &= \sum_{j=1}^M C_{ji}(T-2) \times R_j \\ C'_{2i}(T) &= \sum_{j=1}^M C_{ji}(T-1) \times R_j \\ C'_{3i}(T) &= \sum_{j=1}^M C_{ji}(T) \times R_j \end{aligned} \quad 8-3$$

$C'_{1i}(T)$ は 濃度計算地点 i の汚染に寄与する 3 時間前から 2 時間前にかけて排出された汚染物質による M 地区からの汚染総和量, $C'_{2i}(T)$ は 濃度計算地点 i の汚染に寄与する 2 時間前から 1 時間前にかけて排出された汚染物質による M 地区からの汚染総和量, $C'_{3i}(T)$ は 濃度計算地点 i の汚染に寄与する 1 時間前から現在までに排出された汚染物質による M 地区からの汚染総和量, $C_{ji}(T)$ は 濃度計算地点の汚染に寄与する j 地区からの汚染濃度で、規制を受けていない

ときの値である。 R_j は時間の関数で j 地区の排出率である。

f) 1回の計算では同一地区に対して規制とその解除は1回しか行なれない。制御方法の種類を表で示すと Table 2-18 のようになる。ここで $M=7$ (ある。 T は 2-6 の整数, 排出制御率の種類数を3とする。

g) 計算時間を短くするため, 地区 I と II, VI, 地区 III, IV, 地区 VI の3つの組に分け各組に独立な制御指令を出すものとし 地区 V に制御を行なわない。

最適制御方策の決定に必要な評価関数は制御によって生ずる損失と利益から成り立つが, これを定量的に評価することはきわめて困難である。そこで式 (8-1) を1つの束縛条件として制御による経済損失は制御によって減らされる燃料の量に比例するものと仮定し, 大阪全域の総燃料減少量が最小となるように7つの地区単位で制御量の配分を行なうことにした。

$$P.I. = \sum_{j=1}^7 \sum_{T=2}^6 Q_{0j}(T) \times R_j \longrightarrow \text{maximum} \quad 8-4$$

ここで $Q_{0j}(T)$ は j 地区の $t_0 + T$ 時刻の総燃料使用量, t_0 は現在の時刻を示す。

第3節 制御計算法と計算結果

最適制御計算のフローチャートを示すと Fig. 2-32 となる。計算手順は次のようになる。

1) 7 地域について束縛条件式 (8-1) を満たさない濃度予測値があるかどうかを調べる。

ある場合 計算手順 \longrightarrow 2)

ない場合 計算手順 \longrightarrow 6)

2) 制御は現在から2時間先の間の排出量に対して行なうことができないので3時間先から6時間先までの制御率, 継続時間, 開始時間を仮定する。

Table 2-17 Environmental Standards of SO₂ for Each Country (78)

Country	Level	Time average
California	0.3	8 hours (1)
Czechoslovakia	0.06	24
Japan	0.2	3 (2)
New York	0.1	24 (3)
New York	0.15	24 (4)
Ontario (Industrial, Commercial)	0.05	1 year
Ontario (Industrial, Commercial)	0.4	1 hour
Ontario (Residential, Rural)	0.02	1 year
Ontario (Residential, Rural)	0.25	1 hour
Pennsylvania	0.05	30 days
Poland	0.13	24 hours (5)
Poland	0.03	24 hours (6)
U.S.S.R	0.058	24 hours

- (1): Adverse level, (2): Urgent warning,
 (3): It should not be over a period of 1% per year except a industrial area.
 (4): It should not be over a period of 1% per year in a industrial area.
 (5): Conservation area, (6): Special conservation area,

Table 2-18 Species of Order for Emission Control

Time	Present	1	2	3	4	5	6	Species of control level
Duration periods*			*	*	*	*		3
			*	*	*			3
			*	*				3
			*					3
				*	*	*		3
				*	*			3
				*				3
					*	*		3
					*			3
						*		3

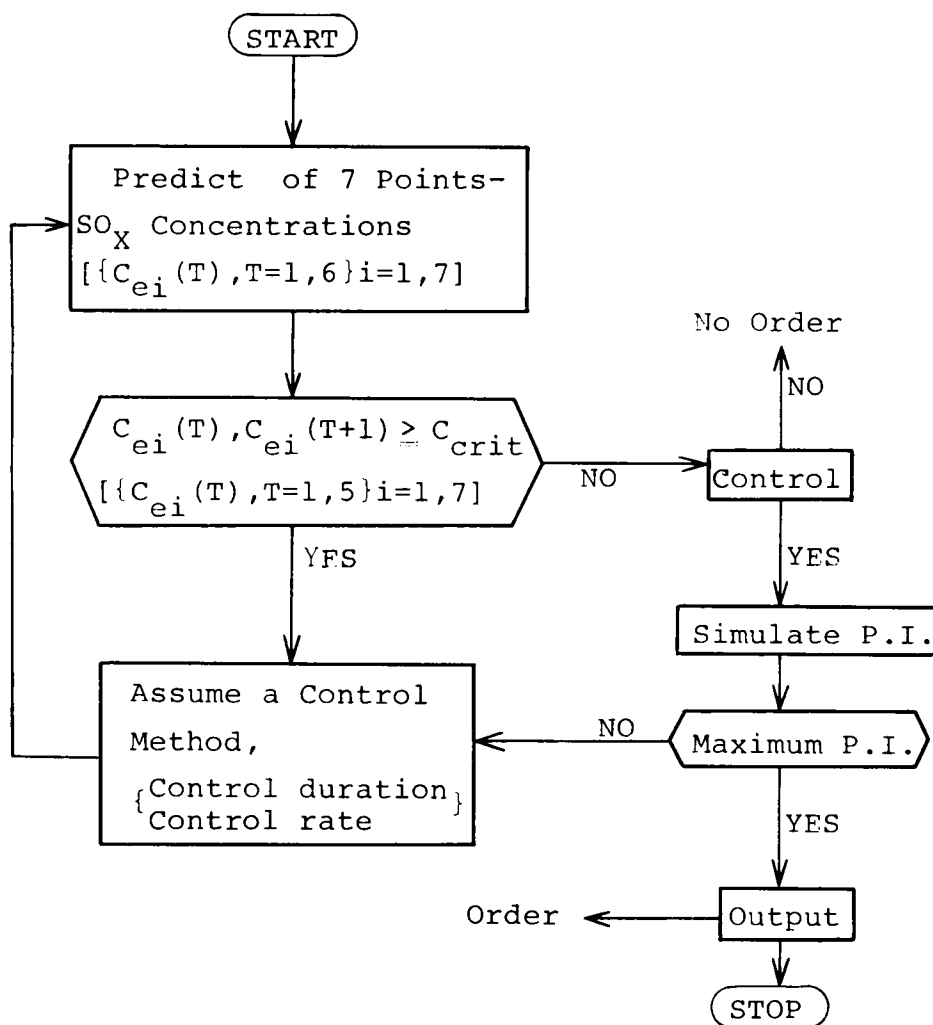


Fig.2-32 Flowchart of Optimal Control Algorithm

- 3) 濃度を 2) の仮定を用いて新たに計算しなおす。
- 4) 3) の計算値が束縛条件式 (8-1) を満たすまで 3), 4) の作業を繰り返す。満たされれば 5) の作業へ進む。
- 5) 評価関数式 (8-4) を満足するような 制御方法の組み合わせが見つかるまで 2), 3), 4) を繰り返す。評価関数式 (8-4) を満たす組み合わせが見つければ 6) へ進む。
- 6) 計算停止。

Fig.2-3 は 12月7日に測定された7地点の濃度実測値と風向, 風速および排出強度データから推定した C_B , γ を使って いずれの監視局の汚染濃度も2時間連続して 0.2ppm を越えないようにするため 制御計算を行なった結果を示す。Fig.2-33-1) は 毎時間に推定した6時間先までの汚染濃度の時間変動を示す。Fig.2-33-3) は 最適制御量を示し, Fig.2-33-2) は 最適制御を行なった結果, 現われた濃度計算値を示している。

濃度予測計算は実際には予測する時刻が近くなればなるほど 予測の精度が高くなるので 制御の指令は2時間先に1.0より排出率が小さくなった時点で行なうものとすればよい。Fig.2-33-3) の結果から7時に9時代の排出率の制御指令を出すことになり, 9時のVI地区の排出率が0.8に抑制される。8時での計算結果によると, 10時以後の規制を行なう必要がなくなる。しかし9時のVI地区の排出率は指令通り0.8のままである。12時になると14時のI, II, VII地区の排出率を0.4にする指令を出すことになる。15時以後の指令は13時以後の予測計算と制御計算に任される。

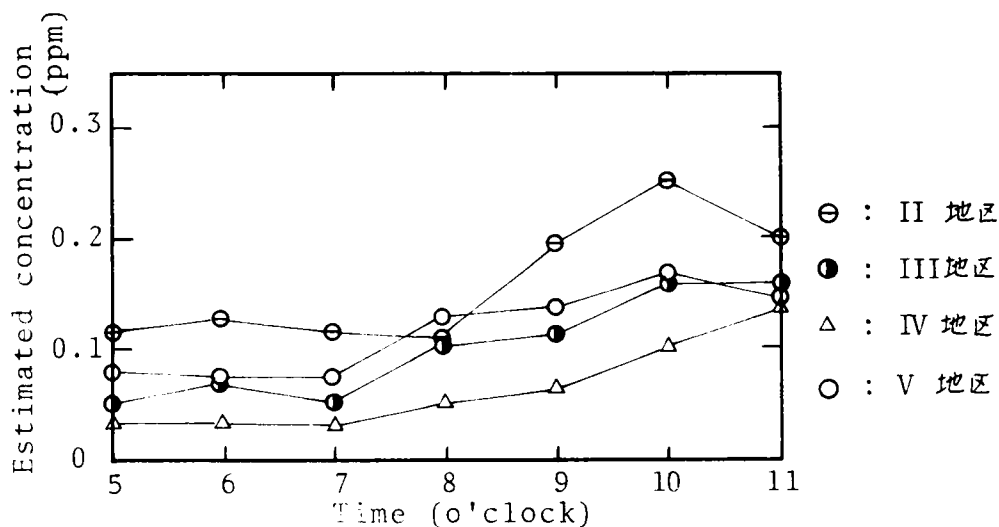
Fig.2-34 は 最終的に実行される緊急時制御を示す。

第4節 要約

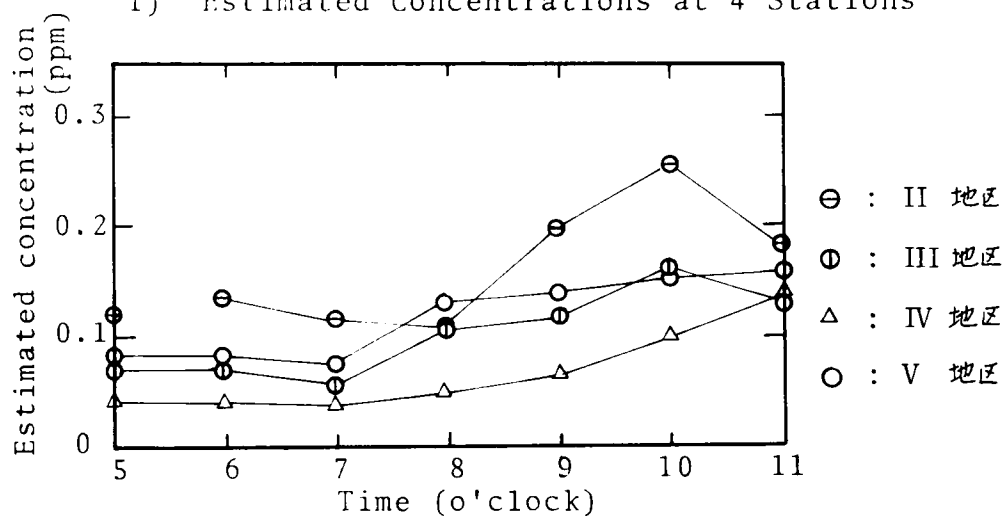
本章では 物理現象についての理論や経験式から離れて, 緊急時制御計算の方法の確立と 計算機プログラムの作成が課題であった。

計算法の要点をあげると次のようになる。

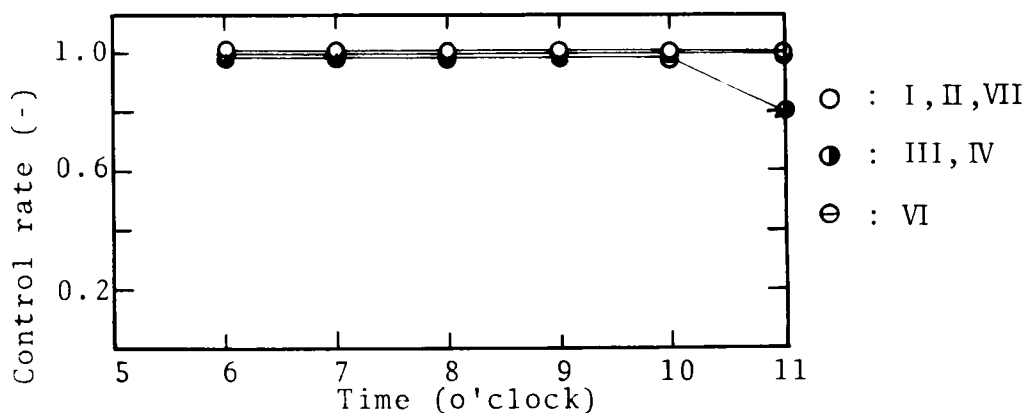
- i) 3時間以内の汚染物質の到達時間遅れは、制御計算で考慮する。
- ii) 制御率は0.8, 0.6, 0.4 の3種類とする。
- iii) 濃度予測計算と制御計算は1時間ごとに行ない、6時間先までの予測濃度を制御計算の対象とする。
- iv) 7地点の濃度から3地区に分けた排出規制区の排出率を求める。
- v) 制御指令は2時間前に行なう。
- vi) 1回の計算では2種類以上の指令を出さないものとする。
- vii) 濃度は0.2ppm以上が2時間以上連続しないことを束縛条件とする。



1) Estimated Concentrations at 4 Stations

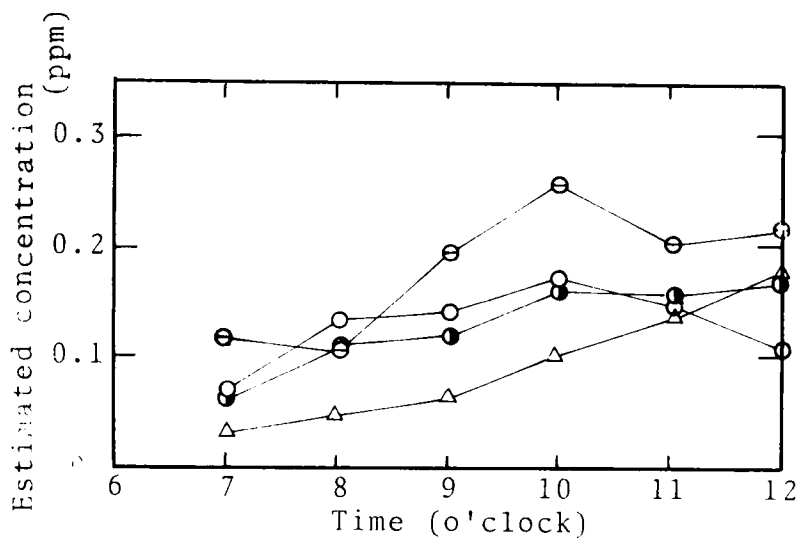


2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates

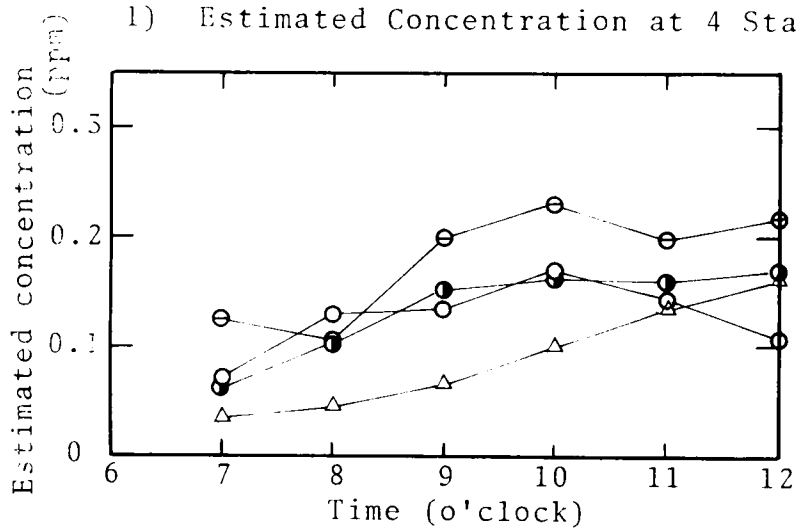


3) Estimated Control Rates

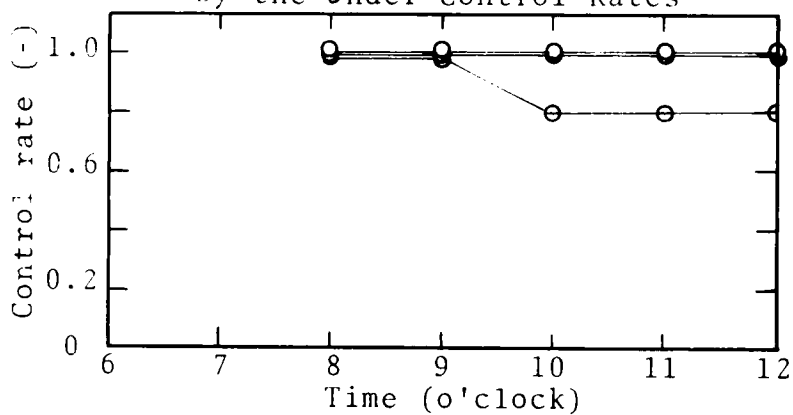
Fig.2-33-1 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentration at 4 Stations

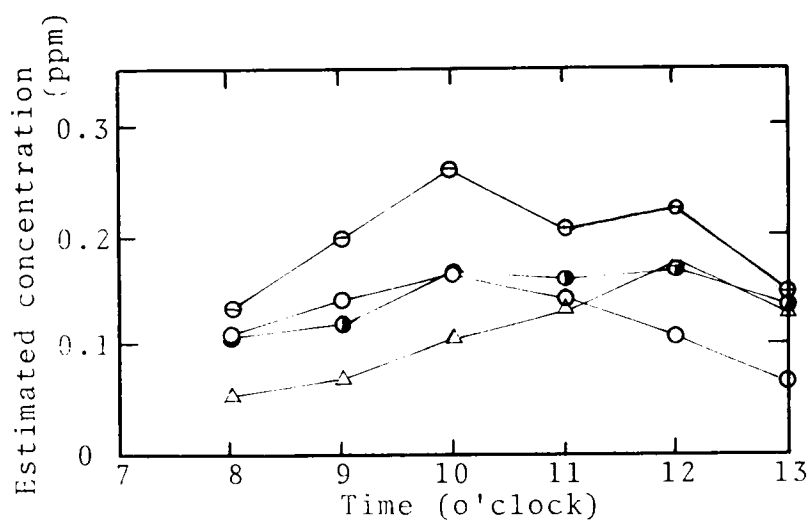


2) Estimated Concentration Controlled by the Under Control Rates

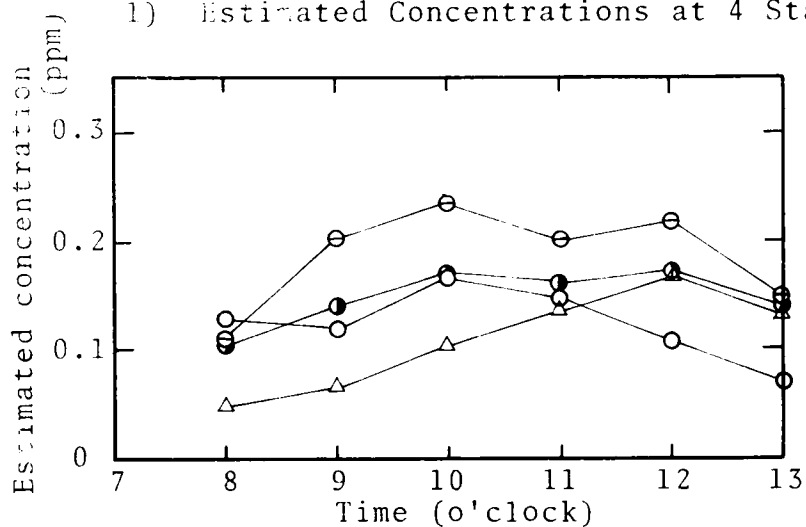


3) Estimated Control Rates

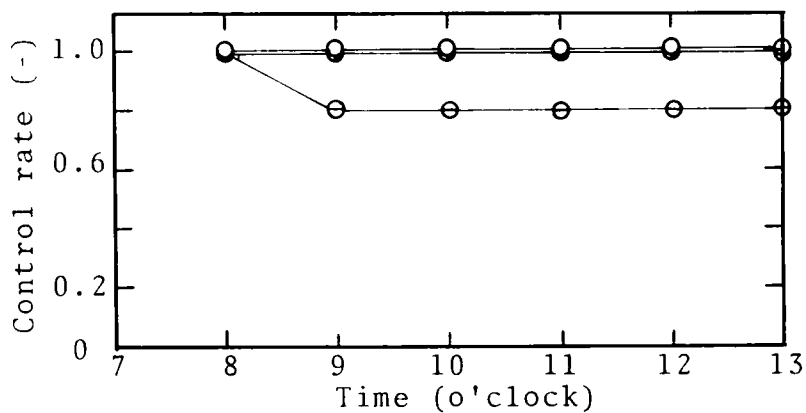
Fig.2-33-2 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentrations at 4 Stations

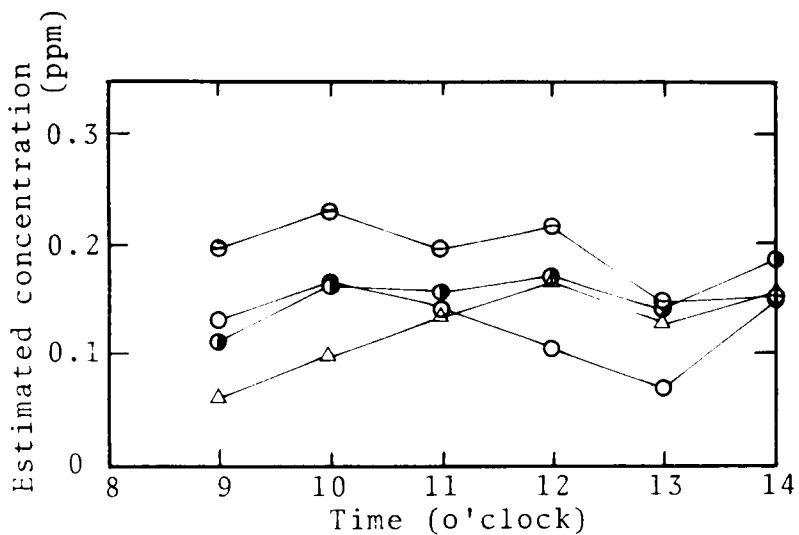


2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates

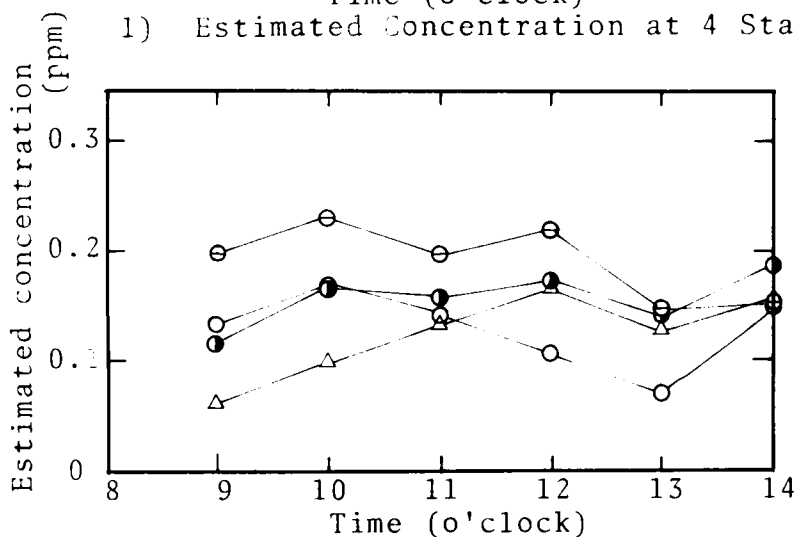


3) Estimated Control Rates

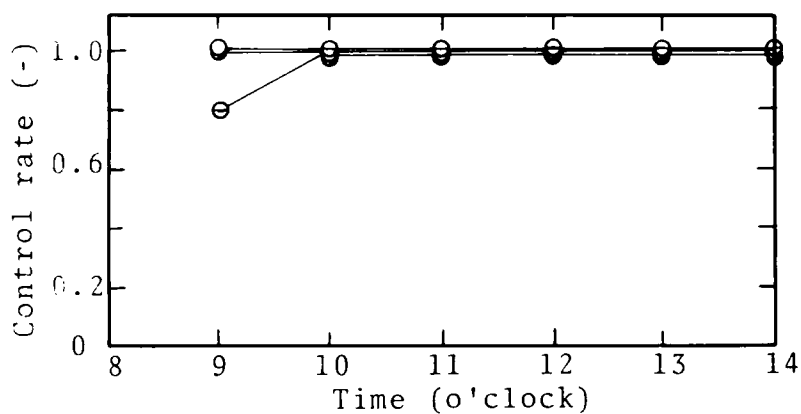
Fig.2-33-3 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentration at 4 Stations

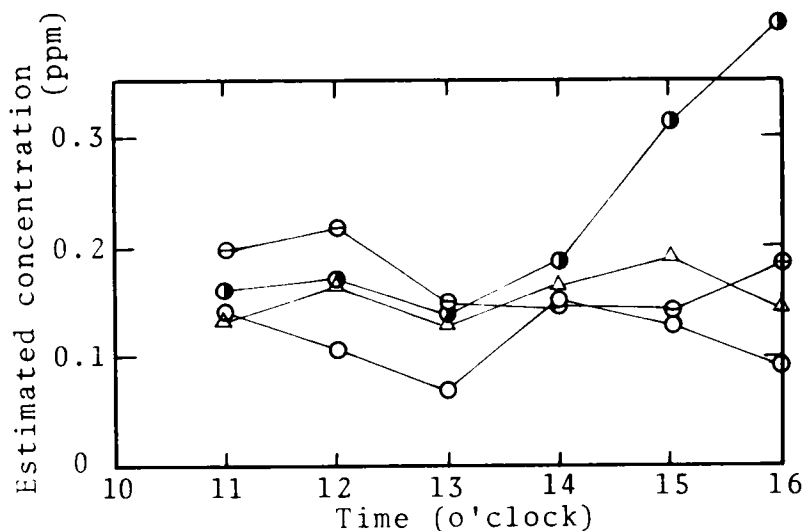


2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates

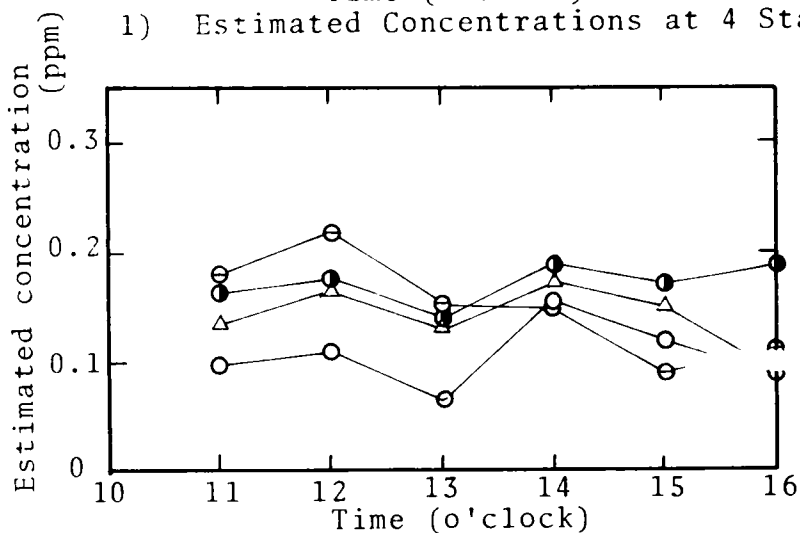


3) Estimated Control Rates

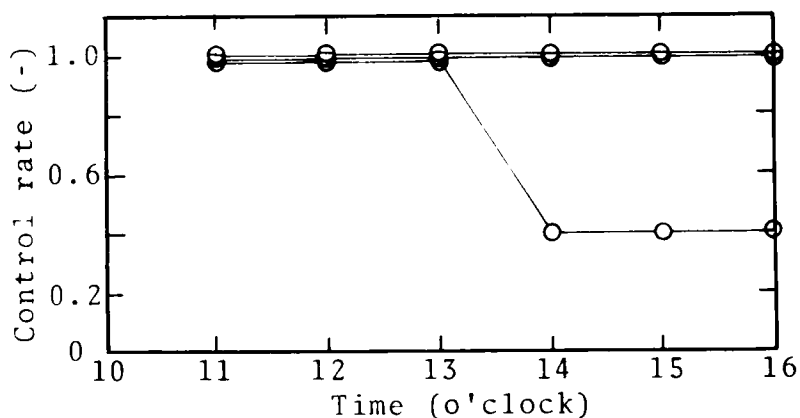
Fig.2-33-4 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentrations at 4 Stations

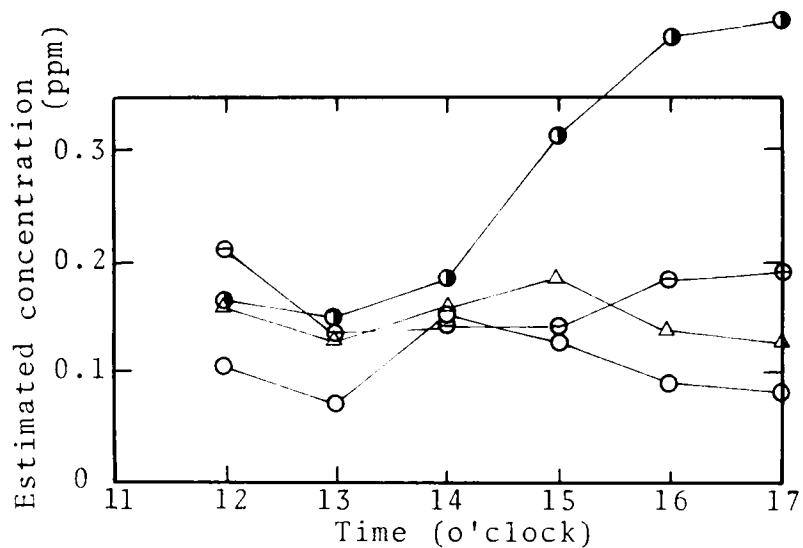


2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates

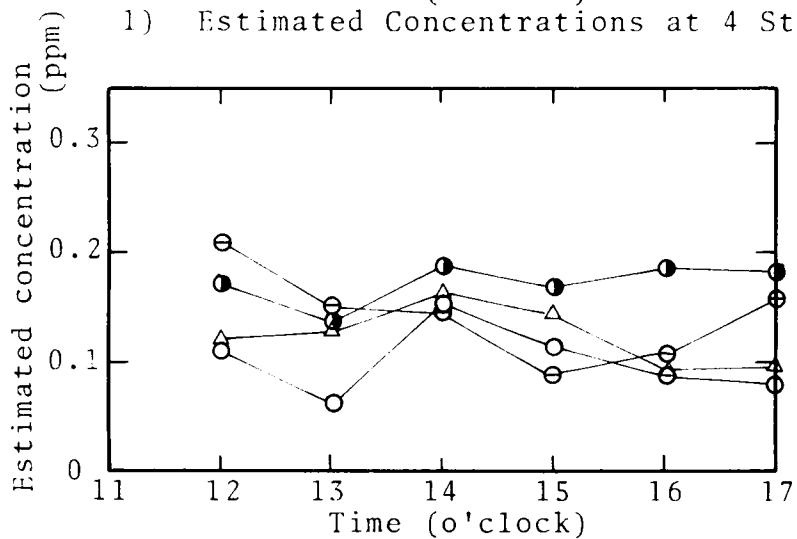


3) Estimated Control Rates

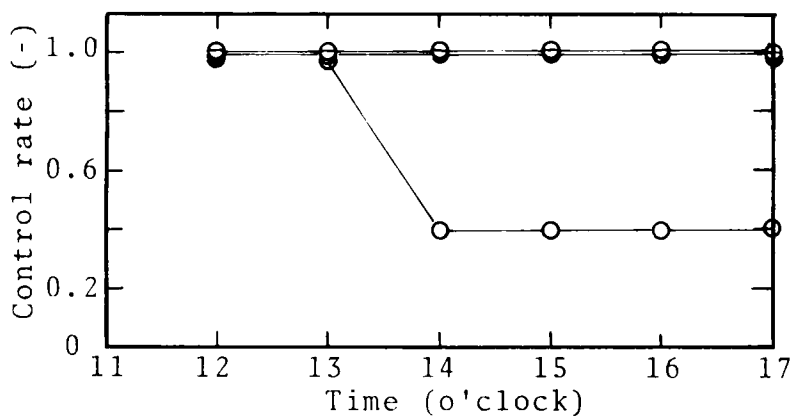
Fig.2-33-5 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentrations at 4 Stations

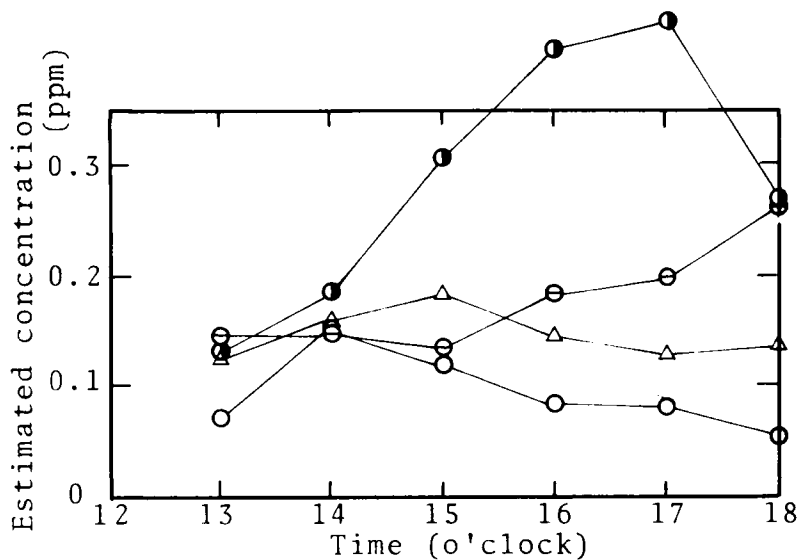


2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates

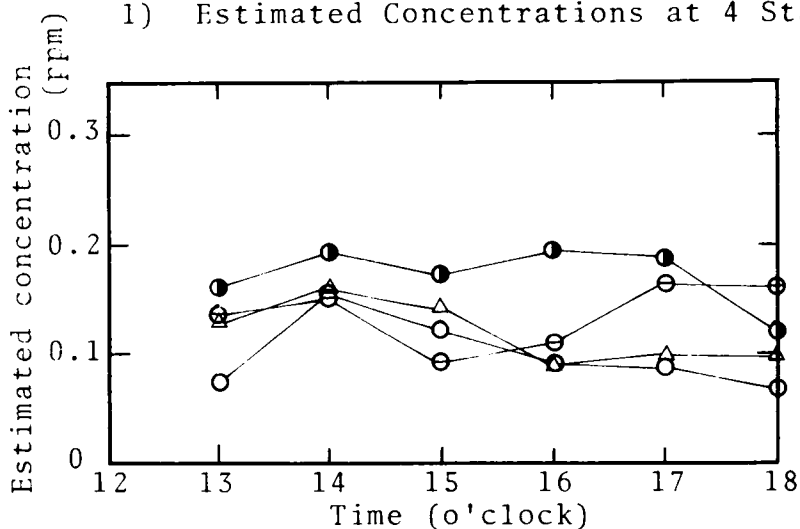


3) Estimated Control Rates

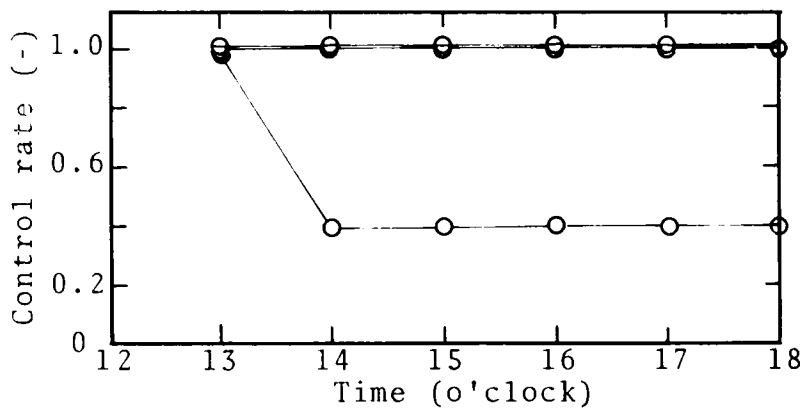
Fig.2-33-6 Example of the Optimal Emission Control



1) Estimated Concentrations at 4 Stations



2) Estimated Concentrations Controlled by the Under Control Rates



3) Estimated Control Rates

Fig.2-33-7 Example of the Optimal Emission Control

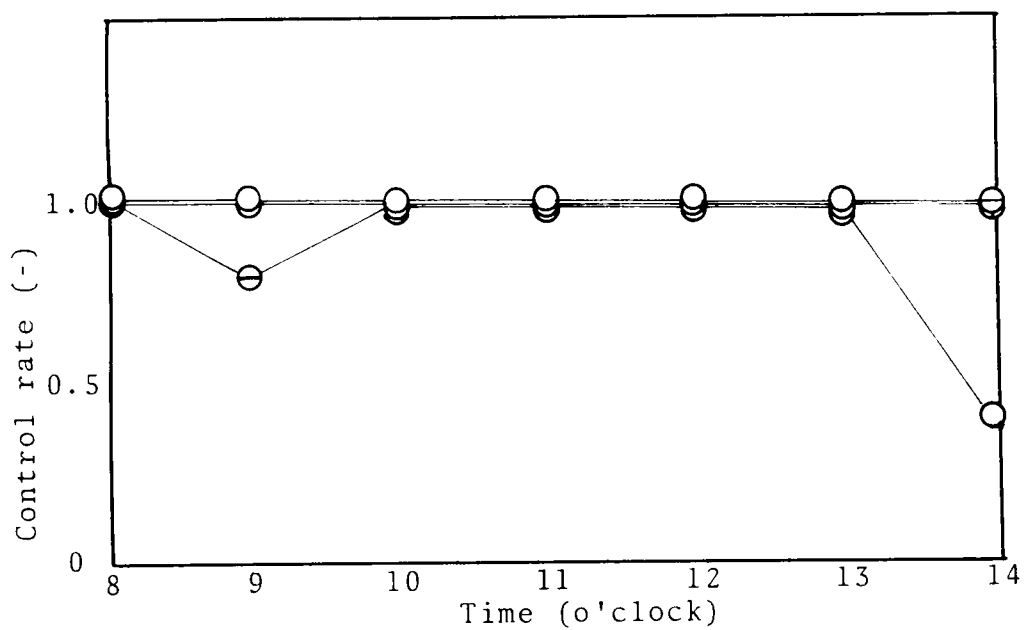


Fig.2-34 The Finally Estimated Control Rate of the Emission Intensity

記号表

C_{crit} :	許容限界濃度	(ppm)
$C_{ei}(T)$:	i 観測点の時刻 T の汚染濃度	(ppm)
$C_{ji}(T)$:	j 地点にある排出源から T 時に出た汚染物質が i 地点に寄与する濃度	(ppm)
$C'_{1i}(T)$:	$(T-2)$ 時に出た汚染物質が T 時の汚染に寄与する濃度	(ppm)
$C'_{2i}(T)$:	$(T-1)$ 時に出た汚染物質が T 時の汚染に寄与する濃度	(ppm)
$C'_{3i}(T)$:	T 時に出た汚染物質が T 時の汚染に寄与する濃度	(ppm)
$k(T)$:	降雨による汚染物質浄化速度定数	(1/hr)
R_j :	排出制御率	(-)
$z_i(T)$:	i 観測点での T 時の局地混合槽高度	(m)
$\gamma_i(T)$:	i 観測点での T 時の空気換気回数	(1/hr)

第9章 結論

常に人間の健康に有害とならないように大気汚染を防止し、しかもそれによって不必要な社会活動の低下をきたさないようにするためには、対象地域の汚染濃度を予測することが必要である。そのため汚染濃度を定量的に求めるための数式モデルを完成させた。大都市域は高層建築物、人工的熱源が存在するため、田園地帯と比較して大気はきわめて複雑な流れをし、さらに多重汚染源を持つが、その数式モデルは計算機によって短時間に予測計算を行なえる実用的な簡単なものである。

数式モデルに対する検討、考察は大阪府公害監視センターに収集されている諸データを利用し、局地汚染濃度については同センターを重点的に解析の対象とした。数式モデル中に含まれるパラメーターと気象条件の関係が得られ、それを使って濃度計算を行なった。その結果、数式モデルは主に次のような特徴を持つことが明らかとなった。

- 1) 定常拡散公式では得られない風向、風速、大気安定度の変動が激しいとき、無風ないしは微風に近い状態のときにも汚染濃度の計算が可能となった。
- 2) 拡散式の適用にあたって風配および煙の到達の時間遅れを考慮したため、到達点濃度は風向、風速の変動に追隨できるようになった。
- 3) 適応論的な方法を予測計算にとり入れたため、第7章の Pasquill の方法による結果と比べてはるかに予測精度をあげることができた。
- 4) 短時間先(4-5時間先)までの濃度を予測するときには、数時間過去から現在の間に推定した適応パラメーターを、一方5-6時間以上先の濃度を予測するときには長期間過去へ逆のぼった時点から現在にかけて推定した適応パラメーターを使用すれば予測精度が高くなることが明らかとなった。このことから、長時間先の予測は適応論的な方法よりも統計論的な方法がより有効であることが推定された。

- 5) 広域的に汚染現象を把握して得られた広域の汚染物質浄化能力を示すパラメーターを局地濃度の予測計算に役立てることができた。すなわち第1編で示したパラメーターと定常拡散式を修正して得た水平伝播式中のパラメーターとを高い相関で関係づけることができた。
- 6) 濃度の予測計算は短時間に行なえることがわかった。なお緊急時制御計算は制御に関する評価関数が十分明らかでないこと、および大阪全域の面的な濃度予測を行なっていないことによって、試算に止めた。
- 計算所要時間を一括して表示すると Table 2-17 となる。

Table 2-17 Operation Time by FACOM 230-60

Program Name	Operation Time (CPU)
Air pollution C _T	12 sec
Estimation of hourly average concentration at the Center St. of 8 hours in advance	0.5 sec
Emission control	42 sec

本研究で行なった汚染濃度の推定はあくまで常時観測されている気象要素で表わされる気象条件が正しく予報されたものとして行なっている。したがって実際の汚染予測の計算に際しては 現在気象台で行なっている予報よりもきめの細かい局地風、日射量、雲量、広域の平均風向、広域の平均風速等の時間的な変動に関する予報が必要となる。しかしながら従来の研究より予測の精度を高める点において一歩前進したものと考えらる。

引用文献

- (1) Monin, A.S., Obukhov, A.M. (1954): The Basic Regularity in Turbulent Mixing in the Surface Layer, Trudy Geofiz. Inst. Akad. Nauk, U.S.S.R. 24, 163-187
- (2) Batchelor, G.K., (1953): The Theory of Homogeneous Turbulence, Cambridge Univ. Press, England
- (3) Kolmogorov, A.N., (1941): Energy Dissipation in the Case of Locally Isotropic Turbulence, DAN SSSR, 19
- (4) Taylor, G.I., (1920): Diffusion by Continuous Movements, Proc. London Math. Soc., 1, 196-202
- (5) Taylor, G.I., (1935): Statistical Theory of Turbulence, Proc. Roy. Soc., A, 151, 421
- (6) Ellison, T.H., (1957): Turbulent Transport of Heat and Momentum from an Infinite Rough Plane, J. Fluid Mech., 2, 456
- (7) Priestley, C.H.B., (1959): Turbulent Transfer in the Lower Atmosphere, Univ. of Chicago Press,
- (8) Gifford, F.A., (1957): Relative Atmospheric Diffusion of Puffs, J. Met., 12, 3, 245-251
- (9) Gifford, F.A., (1960): Atmospheric Dispersion, Nuclei Safety, 1, 3, 56-62
- (10) Bosanquet, C.H., Pearson, J.I., (1936): The Spread of Smoke and Gases from Chimney, Tran. Faraday Soc., 32, 1249-1264
- (11) Sutton, O.G., (1947): The Theoretical Distribution

- of Airborne Pollution from Factory Chimneys, Jour.
of Roy. Met. Soc., 73,426
- (12) Pasquill,D.Sc.,(1961): The Estimation of the
Dispersion of Wind Borne Material, The Met. Mag.,
90, 1063, 34
- (13) Turner,D.B.,(1964): A Diffusion Model for an Urban
Area, Jour. Applied Met., 3, 2
- (14) Robert,J.J.,Croke,E.J. and Kennedy,A.S.,(1969):
Urban Atmospheric Dispersion Model, Symposium on M
Multiple-Source Urban Diffusion Models, Chapel Hill
North Carolina, Oct. 1969
- (15) Jang,S.L.,(1969): A Multiple-Source Model of
Turbulent Diffusion and Dispersion in Urban Atmos.,
The Final Report for Mathematical Models of Urban
Air Pollution Dynamics, New York University,
- (16) Ulblich,F.A.,(1967): Annual Symposium Application
of Computer to Problem of Urban Society, 10, Nov.,
- (17) Pasquill,D.Sc.,(1961): Atmospheric Diffusion, D.
Van Nostrand Co. LTD. London, 209
- (18) Ott,W., Clarke,J.F. and Ozolins,G.,(1967): Public
Health Service Publication No. 999-AP-41
- (19) Richardson,L.F.,(1926): Atmospheric Diffusion Shown
on a Distance Neighbour Graph, Proc. Roy. Soc., A
110, 709
- (20) Islitzer,N.F. and Dumbauld,R.K.,(1963): Atmospheric
Diffusion Deposition Studies over Flat Terrain,

- Int. J. Air and Water Poll., 7, 999-1022
- (21) Singer, I.A., Frizzola, J.A. and Smith, M.E., (1966):
A Simplified Method of Estimating Atm. Diffusion
Parameter, J. Air Poll. Cont. Ass., 16, 11, 594-596
 - (22) Martin, A. and Barber, F.R., (1967): SO₂ Concentrations
Measured at Various Distances from a Modern Power
Station, Atm. Env., 11, 655-677
 - (23) Layktman, D.L., (1956): Some Properties of the
Atmospheric Boundary Layer, Trudy GGO, No. 56
 - (24) Selenzneva, Ye.S., (1962): Peculiarities of Vertical
Distribution of Condensation Nuclei with Various
Stratifications of the Atmosphere, Trudy GGO, No.
134
 - (25) Orlenko, L.R., (1955): Analysis of the Experimental
Material on the Daily March of the Air Temperature
Trudy GGO, No. 53
 - (26) Vorontsov, P.A., (1966): Turbulence and Vertical
Currents in the Boundary Layer of the Atm.,
(Russian) Translated by Foreign Tech. Div., 241
 - (27) Blackadar, A., (1962): The Vertical Distribution of
Wind and Turbulent Exchange in a Neutral Atmosphere,
Jour. of Geophys Res., 67, 8
 - (28) Lumley, J.L. and Panofsky, H.A., (1964): The Structure
of Atmospheric Turbulence, John Willey and Son,
 - (29) Busch, N. and Panofsky, H., (1968): Recent Spectra of
Atmospheric Turbulence, Quart. J. Roy. Met. Soc.,

94, 132-148.

- (30) Hanna, S.R., (1968): A Method of Estimating Vertical Eddy Transport in the Planetary Boundary Layer Using Characteristics of the Vertical Velocity Spectrum, J. of Atm. Science, 25, 9.
- (31) Wong, E.Y. and Brundage, K.C., (1966): Vertical and Temporal Distributions of the Heat Conductivity and Flux, J. of Atm. Science, 23, 2.
- (32) Fisher, E.L. and Caplan, P., (1963): An Experiment in Numerical Prediction of Fog and Stratus, J. of Atm. Science, 20,
- (33) Deacon, E.L., (1949): Vertical Diffusion in the Lowest Layer of the Atmosphere, Quart. J. Roy. Met. Soc., 75, 89.
- (34) Munn, R.E. and Richards, T.L., (1963): The Micro-meteorology of Douglas Point, Ont. Rept. No. Tec-455, 13, Meteorol. Branch, Toronto.
- (35) Frost, R., (1947): Meteor. Magazine, 76, 14.
- (36) Priestley, C.H.B., (1964): Turbulence and Vertical Currents in the Boundary Layer of the Atmosphere, Paper by F.A. Vorontsov, Translated by Foreign Tech. Div., AD 698106, 120.
- (37) Yamamoto, G., (1959): Theory of Turbulent Transfer in Non-neutral Conditions, J. of Met. Soc. Japan, 37, 2.
- (38) Brunt, D., (1934): Physical and Dynamical Meteorology, Cambridge Univ. Press, 428.

- (39) Clarke, J.F., (1964): A Simple Diffusion Model for Calculating Point Concentrations from Multiple Sources, J. Air Poll. Cont. Ass., 14, 347-352.
- (40) Panofsky, H., (1962): The Budget of Turbulent Energy in the Lowest 100 meters, J. Geophys. Res., 67, 8.
- (41) Kolmogorov, A.A., (1941): Energy Dissipation in the Case of Locally Isotropic Turbulence, DAN SSSR, 19
- (42) Bosanquet, C.H., Carey, W.F. and Holton, E.M., (1950): Dust Deposition from Chimney Stacks, Proc. Inst. Mech. Engrs. 162, 355.
- (43) Priestley, C.H.B., (1956): A Working Theory of the Bent-over Plume of Hot Gas, Quart. J. Roy. Met. Soc. 82, 165.
- (44) Holland, J.Z., (1953): A Meteorological Survey of the Oak Ridge Area, U.S. Atomic Energy Committee, Rept. No. ORO-99.
- (45) Lucas, D.H., Moore, D.J. and Spurr, G., (1963): The Rise of Hot Plumes from Chimneys, Int. J. Air and Water Poll., 7, 473-500.
- (46) Roberts, O.F.T., (1923): The Theoretical Scattering of Smoke in a Turbulence Atmosphere, Proc. Roy. Soc. Ser. A., 640-654.
- (47) Batchelor, G.K., (1949): Diffusion in a Field of Homogeneous Turbulence, I. Eulerian Analysis, Aust. J. Sci. Res., 2, 437.
- (48) Monin, A.S., (1959): Smoke Propagation in the Surface

Layer of the Atmosphere, Advances in Geophysics, 6, 331-343.

- (49) Sakagami, J., (1954): On the Turbulent Diffusion in the Atmosphere Near the Ground, Natural Science Rept., Ochanomizu Univ., 5 (1), 79-91.
- (50) Monin, A.S. and Yaglow, A.M., (1965): Statistical Hydrodynamics, Nauka, Moscow,
- (51) Ellison, T.H., (1962): Laboratory Measurements of Turbulent Diffusion in Stratified Flow, J. of Geo. Res., 67, 3029.
- (52) Gifford, F., (1959): Statistical Properties of a Fluctuating Plume Dispersion Model, Advances in Geophysics 6, 117-137.
- (53) Calder, K.L., (1949): Eddy Diffusion and Evaporation in Flow over Aerodynamically Smooth and Rough Surface, Quart. J. Mech. and Applied Math., 2, 153.
- (54) Deacon, E.L., (1959): The Problem of Atmospheric Diffusion, Intern. J. of Air Poll., 2, 92.
- (55) Sutton, O.G., (1953): Micrometeorology, McGraw-Hill, New York,
- (56) Slade, D.H., (1967): Modeling Air Pollution in the Washington D.C. to Boston Megalopolis, Science, 157 15.
- (57) Singer, I.A. and Smith, M.E., (1953): Relation of Gustiness to Other Meteorological Parameters, J. Met., 10, 121.

- (58) OECD 大気管理研究グループ, (1971): 大気汚染の予測モデルに関する報告書 (その2), 公害, 6, 5, 330-347.
- (59) Pooler, F., (1961): A Prediction Model of Mean Urban Pollution for Use with Standard Wind Roses, I. J. Air and Water Poll., 4, 199-211.
- (60) Fortak, H.G., (1969): Numerical Simulation of the Temporal and Spatial Distributions of Urban Air Poll. Concentrations, Paper of Symposium on Multiple Source Urban Diffusion Models at North Carolina
- (61) Siger, I.A., Frizzola, J.A. and Smith, M.E., (1966): A Simplified Method of Estimating Atm. Diffusion Parameters, J. Air Poll. Cont. Assoc., 16, 11.
- (62) Hilst, G.R., (1968): An Air Pollution Model of Connecticut, Proceedings of IBM Sci. Computing Sympo. Water and Air Resources Management, IBM, White Plains, New York
- (63) Taylor, R.J., (1960): Similarity Theory in the Relation between Fluxes and Gradients in the Lower Atmosphere, Q. J. Roy. Meteor. Soc., 86, 67-78.
- (64) Priestley, C.H.B., (1955): Free and Forced Convection in the Atmosphere near the Ground, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 81, 139-143.
- (65) Townsend, A.A., (1962): Natural Convection in the Earth's Boundary Layer, Quart. J. Roy. Met. Soc., 225, 196-212.

- (66) Smith,M.E. and Singer,I.A.,(1966): An Improved Method of Estimating Concentrations and Related Phenomena from a Point Source Emission, J. Applied Met., 5, 631-639.
- (67) Marsh,K.J. and Foster,M.D.,(1967): An Experimental Study of the Dispersion on the Emission from Chimneys in Reading-I, Atmos. Environment. 1, 527-550.
- (68) 大気汚染研究全国協議会, 第三小委員会編,(1965): 大気汚染気象ハンドブック , コロナ社, 204.
- (69) Miller,M.E.,(1964): Semi Objective Forecasting of Atmospheric Stagnation in the Western United States, Monthly Weather Review, 92, 1.
- (70) Miller,M.E.,(1967): Forecasting Afternoon Mixing Depth and Transport Wind Speeds, Mon. Wea. Review, 92,1.
- (71) Chamberlain,A.C.,(1953): Aspect of Travel and Deposition of Aerosol and Vapour Clouds, A.E.R.E. HP/R 1261 H.M.S.O.
- (72) May,F.G.,(1958): The Washout by Rain of Lycopodium Spores, Quart. J. Roy. Met. Soc., 84, 451.
- (73) Beilke,S. and Georgii,H.W.,(1968): Investigation on the Incorporation of SO_2 into Fog and Rain-Droplet, Tellus, 3, 435-442.
- (74) Stanley,W.J. and Heller,A.N.,(1966): Air Resource Management in the Chicago Metropolitan Area Planning

- Clean Air, Paper Presented at Planning and Zoning Session 59th Annual Meeting Air Poll. Cont. Ass.,
- (75) Martin,D.O. and Tikvart,J.A.,(1968): A General Atm. Diffusion Model for Estimating the Effects of One or More Sources on Air Quality, The 61th Annual Meeting of Air Poll. Cont. Ass., June
- (76) Johnson,W.B., Ludwig,F.L. and Moon,A.E.,(1969): Development of a Practical Multipurpose Urban Diffusion Model for Carbon Monoxide, Paper Presented at Symposuim on Multiple-Source Urban Diffusion Models, Chapel Hill North Carolina, Oct.
- (77) Gifford,F.A.,Jr.(1961): Use of Routine Met. Obs. for Estimating Atmospheric Dispersion, Nucleau Safety, 2,48
- (78) 戎能通孝編,(1969): 公害法の研究, 日本評論社, 264
- (79) Y. Ide,(1972): Private Communication

結 び

本論文では 大気汚染濃度予測計算法と緊急時制御法を論じてきたが、従来のような人間の健康や自然環境の破壊への配慮を欠いた経済優先主義や、自動車排ガス公害に見られるような便利さへの魅力に引きずられ大気を汚すことを認めながらも乗りまわすことを反省しない限り、また、ますますいかにすれば汚染物質を大気中に排出するのを阻止できるかという原点へ立ち返らない限り、大気汚染を防止することは困難である。そういう意味から緊急時制御は非常に消極的な方法である。しかしながら現実には物質文明の下に生活している人間にとって人為的な汚染物質の大気中への排出を無にすることは不可能と考えざるを得ない。したがって人間の健康保持と自然環境保護を絶対条件として設定される環境基準に基づき、汚染濃度予測結果を使って排出源に対して緊急時制御を行なって少しでも大気汚染の抑制に努めることが、いつの時代にも必要であるものと思う。そのために本研究結果がいささかでも役立てば幸いである。

本論文を上梓するに当って筆者が本研究に入る端緒を与えられ終始御指導、御鞭撻を賜わった京都大学工学部の高松武一郎教授ならびに平岡正勝教授に対して謹んで感謝の意を表します。また気象等に関連して貴重な御助言を賜わった京都大学防災研究所の中島暢太郎教授、常に身近かで親切的な御助言を賜わった内藤正明助教授、またとくに資料使用に便宜をはかって下さった大阪府公害監視センターの溝口次夫主査の御援助に対して心から謝意を表します。

なお 本論文の計算は京都大学大型電子計算機センターのFACOM-230-60を利用し、重回帰方程式を求めるのには、東大ライブラリープログラム30を使用したことをここに記す。

第 I 編の付録

Fig.1-A-1	大阪地方の冬季の平均風速の鉛直分布	242
Table 1-A-1	各高度ごとの最大風速発生頻度	243
Table 1-A-2	推定法-1による計算によって推定されたパラメーター Zと Γ	244
Table 1-A-3	推定法-2による計算によって推定されたパラメーター Zと Γ	246
Table 1-A-4	気圧パターン分類による方法での汚染濃度推定値	248
Table 1-A-5	Γ が決定論的に与えられた場合のZの推定値	254
Table 1-A-6	推定値Zとその時の気象要素データ	259
Table 1-A-7	推定値Zと気象要素の間の回帰分析結果	263
Table 1-A-8	気象要素（風速，日射量，雲量）を使って推定した 大気汚染濃度	266

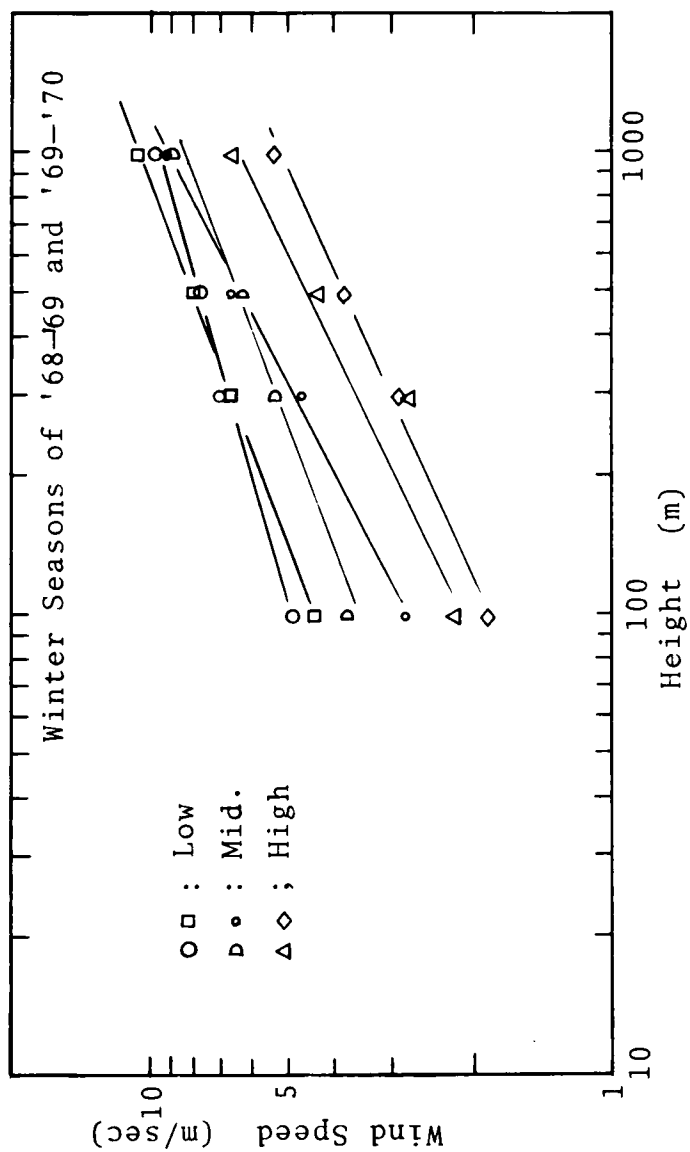


Fig.1-A-1 Mean Wind Profile in the Osaka District

Table 1-A-1 Frequency of an Occurrence of Maximum Wind Speed for Each Height

Height above the sea	Yonago		Shionomisaki		Total freq.
	Dec. '68	Jan. '69	Dec. '68	Jan. '69	
400	0	0	0	0	0
500	0	1	1	4	6
600	5	5	4	11	24
700	7	7	14	17	42
800	13	13	10	23	61
900	22	22	22	29	93
1000	16	16	22	24	82
1100	27	27	27	11	81
1200	18	18	7	5	53
1300	5	5	2	4	16
1400	4	4	7	4	21
1500	0	0	1	0	5
1600	0	0	0	0	2
1700	0	0	0	0	0

Table 1-A-1 の説明: 2 地点の風の高層観測結果によると 冬期2か月間の風速が最大となる高度は 900m であり, 中央値は 900-1000m の間となる。

大阪地方で測定された風速の鉛直分布の平均値は Fig. 1-A-1 で示される。近似された直線の勾配は 0.4 とみなすことができる。晴天日の海陸風の起きるとき, 上空 300m 以上の高度で風向が下層と逆方向をとり, その変換高度では風速が 0 に近くなるともいわれているが, まだ十分明らかでない。第2章第4節で示すように, 東京タワーの境界層内の風速の鉛直分布は温度分布が中立ないしは安定なとき 0.35-0.4 であることに留意し, およそ 1000m の高度まで指数法則が成り立つものと考えた。

$$u(z) = u(z_0) \left(\frac{z}{z_0} \right)^{0.4} \quad z < 1000\text{m}$$

Table 1-A-2 Estimated Parameters Z and Γ by the Method-1

Date	3	4	5	6	7	10	11	12	13
Time(o'clock)									
2	0.98	1.12	6.1	0.50	0.71	0.72	0.79	4.2	1.1
3	0.84	0.96	6.4	0.12	0.72	0.64	1.0	4.7	1.0
4	1.0	0.52	6.7	0.22	0.70	0.64	0.85	5.1	1.1
5	1.4	0.70	7.0	0.38	0.70	0.57	0.82	5.1	1.0
6	1.4	0.44	7.4	0.38	0.68	0.22	0.73	5.1	1.0
7	1.0	0.17	6.1	0.13	0.29	0.14	0.26	5.1	0.91
8	0.84	0.18	5.5	0.14	0.28	0.17	0.46	5.3	0.94
9	0.54	0.48	5.3	0.61	0.35	0.21	1.0	4.7	1.3
10	0.34	0.82	5.0	1.2	0.37	0.20	1.5	4.7	1.7
11	0.89	0.96	6.1	1.0	0.52	0.51	1.4	5.3	1.8
12	0.84	0.89	5.8	0.75	0.38	0.45	1.4	5.7	1.6
13	1.4	0.70	4.1	0.82	0.23	0.12	1.4	5.7	1.7
14	2.0	0.56	3.9	0.53	0.10	0.21	1.3	4.7	1.5
15	2.2	0.48	4.5	0.42	0.10	0.30	1.1	4.4	0.91
16	2.4	0.30	4.3	0.75	0.12	0.60	0.73	4.2	1.2
17	2.2	0.38	3.9	0.71	0.22	0.76	0.62	3.9	1.6
18	2.0	0.41	4.1	0.44	0.43	0.64	0.47	3.9	1.1
19	2.4	0.60	4.1	0.48	0.56	0.45	0.47	3.1	1.1
20	2.1	0.89	3.4	0.53	0.71	0.17	0.49	2.8	1.1
21	1.8	0.56	3.7	0.48	0.71	0.42	0.46	3.2	1.1
22	1.9	0.56	4.1	0.46	0.34	0.48	0.51	4.0	1.3
23	1.9	0.82	4.5	0.50	0.52	0.42	0.44	3.9	1.2
Estimated values of Z	300	700	100	900	700	900	700	100	500

Table 1-A-2 (2)

Date Time(o'clock)	14	17	18	19	20	21	24	25	26
2	6.5	0.65	0.81	1.4	0.38	0.45	0.57	0.33	0.90
3	5.1	0.46	0.85	1.4	0.25	0.51	0.55	0.34	0.74
4	5.1	0.68	1.0	1.7	0.28	0.54	0.65	0.45	0.53
5	5.1	0.79	0.98	1.8	0.26	0.34	0.55	0.40	0.55
6	4.2	0.53	0.93	1.3	0.23	0.28	0.45	0.22	0.53
7	3.4	0.24	0.55	0.98	0.13	0.21	0.33	0.15	0.36
8	3.6	0.17	0.26	1.3	0.056	0.21	0.30	0.06	0.25
9	3.7	0.30	0.34	1.6	0.11	0.21	0.29	0.07	0.19
10	3.6	0.56	0.43	1.8	0.35	0.32	0.29	0.29	0.18
11	3.3	0.87	0.57	1.7	0.38	0.54	0.79	0.39	0.39
12	3.6	0.91	0.81	1.6	0.23	0.81	1.4	0.39	0.53
13	3.9	0.72	0.98	1.8	0.060	0.96	2.0	0.34	0.15
14	3.7	0.56	1.1	1.8	0.11	0.61	0.88	0.29	0.11
15	4.2	0.62	1.2	1.1	0.20	0.64	0.53	0.22	0.11
16	4.0	0.56	0.89	1.8	0.37	0.68	0.70	0.42	0.10
17	3.7	0.59	0.70	1.0	0.38	0.81	0.76	0.44	0.11
18	4.2	0.65	0.85	1.5	0.083	1.4	0.76	0.28	0.11
19	5.1	0.51	0.85	1.6	0.059	1.1	0.88	0.44	0.12
20	4.9	0.30	0.85	1.4	0.35	0.91	0.76	0.44	0.50
21	3.3	0.40	0.89	1.3	0.22	0.96	0.57	0.32	0.64
22	3.7	0.42	0.93	1.2	0.17	1.0	0.85	0.17	0.43
23	4.4	0.34	0.89	1.2	0.28	1.1	1.0	0.24	0.52
Estimated values of z	100	700	400	300	1300	500	600	1100	700

Table 1-A-3 Estimated Parameters Z and Γ by the Method-2

Date	3	4	6	7	10	11	12	13	14
Time (o'clock)									
2	375	1586	895	740	1311	530	161	760	460
3	340	986	460	814	1192	730	177	720	314
4	410	556	460	814	1192	565	195	720	314
5	520	740	673	895	1084	565	177	660	345
6	543	505	673	740	612	530	177	721	259
7	389	345	418	460	505	320	177	610	214
8	320	314	418	460	505	353	195	660	214
9	240	505	1311	505	505	755	177	960	236
10	182	985	2600	505	505	1190	161	1350	214
11	197	1083	1900	673	985	1360	177	1270	214
12	350	985	1311	505	814	1280	195	950	236
13	1000	740	1442	460	418	1280	195	1230	259
14	1530	612	895	418	460	1130	146	960	236
15	1040	556	740	345	556	1020	146	610	259
16	960	418	1586	380	1586	700	133	840	259
17	880	418	1311	460	1745	580	133	1440	214
18	750	418	814	895	1311	480	133	740	25-
19	980	612	814	1442	895	480	110	720	314
20	800	985	895	1745	556	480	110	1090	259
21	720	556	814	1311	740	430	121	1060	177
22	800	556	814	673	895	515	146	1550	195
23	720	985	895	895	740	435	146	1060	236
daily average	638	701	1006	710	846	671	158	940	258.5
Estimated values of Γ	0.76	0.51	0.51	0.51	0.47	0.75	2.66	0.72	1.571

Table 1-A-3 (2)

Date	16	17	18	19	20	21	24	25	26
Time(o'clock)									
2	1460	895	820	214	1442	345	314	1110	1311
3	1250	673	820	214	985	380	314	1160	740
4	1000	985	1260	236	985	380	380	1730	556
5	920	1192	990	259	895	285	345	1330	612
6	1060	740	810	214	895	285	285	840	612
7	720	460	470	177	740	259	259	720	460
8	480	418	325	214	505	214	236	480	418
9	660	460	350	236	612	236	177	540	380
10	930	814	410	259	1192	259	177	960	345
11	1230	1750	570	236	1745	380	380	1400	505
12	1360	1440	1240	236	895	673	1750	1320	673
13	1060	985	1680	259	505	814	1745	1140	418
14	1060	740	1860	259	556	460	612	1010	236
15	1360	814	1410	259	673	460	418	850	260
16	1600	740	760	259	1192	505	460	1560	460
17	1020	814	610	214	1442	612	505	1560	460
18	820	895	860	214	556	1750	505	950	418
19	930	740	960	259	505	985	612	1560	612
20	1320	505	990	214	1192	740	505	1560	985
21	680	556	960	195	740	740	418	1070	1084
22	650	612	810	177	612	740	556	720	740
23	880	505	700	177	895	814	673	850	895
daily average	1020.5	806	894	220	898	559	529	1110	600
Estimated values of Γ	0.58	0.511	0.42	2.06	0.379	0.683	0.91	0.33	0.51

Table 1-A-4 Estimated Values of Air Pollution Concentration
by Atmospheric Pressure Pattern Category

Date	Time	Cobs.	Chat	Γ	Rain Re.	Z
19681205	1	0.0330	0.0330	1.4700	0.0	300.0
	2	0.0290	0.0376	1.4700	0.0	300.0
	3	0.0260	0.0380	1.4700	0.0	300.0
	4	0.0260	0.0383	1.4700	0.0	300.0
	5	0.0260	0.0388	1.4700	0.0	300.0
	6	0.0240	0.0393	1.4700	0.1175	300.0
	7	0.0240	0.0407	1.4700	0.3525	300.0
	8	0.0370	0.0451	1.4700	0.3525	300.0
	9	0.0390	0.0515	1.4700	3.4075	300.0
	10	0.0380	0.0604	1.4700	1.2925	300.0
	11	0.0410	0.0628	1.4700	0.5875	300.0
	12	0.0380	0.0615	1.4700	0.3525	300.0
	13	0.0480	0.0599	1.4700	0.3525	300.0
	14	0.0650	0.0574	1.4700	0.0	300.0
	15	0.0550	0.0566	1.4700	0.0	300.0
	16	0.0540	0.0561	1.4700	0.0	300.0
	17	0.0570	0.0537	0.7640	0.0	700.0
	18	0.0600	0.0477	0.7640	0.0	700.0
	19	0.0460	0.0441	0.7640	0.1175	700.0
	20	0.0570	0.0437	0.7640	0.0	700.0
	21	0.0520	0.0390	0.7640	0.0	700.0
	22	0.0490	0.0367	0.6900	0.0	700.0
	23	0.0460	0.0391	0.6900	0.0	700.0
	24	0.0420	0.0388	0.6900	0.0	700.0
C= 0.0422				CHAT= 0.0467		

19681206	1	0.0470	0.0381	0.6900	0.0	700.0
	2	0.0350	0.0369	0.6900	0.0	700.0
	3	0.0440	0.0358	0.6900	0.0	700.0
	4	0.0630	0.0354	0.6900	0.0	700.0
	5	0.0570	0.0355	0.6900	0.0	700.0
	6	0.0570	0.0357	0.5400	0.0	600.0
	7	0.0540	0.0442	0.3040	0.0	600.0
	8	0.0830	0.0621	0.3040	0.0	600.0
	9	0.0820	0.0797	0.3800	0.0	600.0
	10	0.0470	0.0930	0.3100	0.0	1100.0
	11	0.0310	0.0901	0.3390	0.0	1100.0
	12	0.0350	0.0850	0.3390	0.0	1100.0
	13	0.0370	0.0808	0.3900	0.0	1100.0
	14	0.0330	0.0735	0.3900	0.0	1100.0
	15	0.0510	0.0685	0.2300	0.0	1100.0
	16	0.0500	0.0744	0.2300	0.0	1100.0
	17	0.0350	0.0781	0.3230	0.0	1100.0
	18	0.0430	0.0742	0.3230	0.0	1100.0
	19	0.0480	0.0707	0.3880	0.0	1100.0
	20	0.0480	0.0654	0.3880	0.0	1100.0
	21	0.0450	0.0584	0.3880	0.0	1100.0
	22	0.0450	0.0537	0.3560	0.0	1100.0
	23	0.0460	0.0529	0.3560	0.0	1100.0
	24	0.0420	0.0513	0.3560	0.0	1100.0
C= 0.0482				CHAT= 0.0614		

Table 1-A-4 (2)

Date	Time	Cobs.	Chat	\bar{f}	Rain Re.	Z
19681207	1	0.0370	0.0497	0.3560	0.0	1100.0
	2	0.0420	0.0480	0.3560	0.0	1100.0
	3	0.0400	0.0465	0.3560	0.0	1100.0
	4	0.0410	0.0455	0.3560	0.0	1100.0
	5	0.0400	0.0450	0.3560	0.0	1100.0
	6	0.0390	0.0448	0.3100	0.0	1100.0
	7	0.0450	0.0471	0.0760	0.0	1100.0
	8	0.0710	0.0616	0.0760	0.0	1100.0
	9	0.0770	0.0777	0.1240	0.0	1100.0
	10	0.0930	0.0924	0.3100	0.0	1100.0
	11	0.0940	0.0897	0.3390	0.0	1100.0
	12	0.0830	0.0847	0.3390	0.0	1100.0
	13	0.1040	0.0805	0.3900	0.0	1100.0
	14	0.0950	0.0733	0.3900	0.0	1100.0
	15	0.1210	0.0683	0.2300	0.0	1100.0
	16	0.1230	0.0744	0.2300	0.0	1100.0
	17	0.1220	0.0781	0.3230	0.0	1100.0
	18	0.1050	0.0741	0.3230	0.0	1100.0
	19	0.0700	0.0707	0.3880	0.0	1100.0
	20	0.0580	0.0654	0.3880	0.0	1100.0
	21	0.0330	0.0584	0.3880	0.0	1100.0
	22	0.0430	0.0536	0.3560	0.0	1100.0
	23	0.0490	0.0529	0.3560	0.0	1100.0
	24	0.0390	0.0513	0.3560	0.0	1100.0
C = 0.0693				CHAT = 0.0639		

19681210	1	0.0230	0.0230	1.4740	0.0	300.0
	2	0.0220	0.0353	1.4740	0.0	300.0
	3	0.0270	0.0374	1.4740	0.0	300.0
	4	0.0270	0.0381	1.4740	0.0	300.0
	5	0.0290	0.0387	1.4740	0.0	300.0
	6	0.0320	0.0392	1.4740	0.0	300.0
	7	0.0510	0.0406	1.4740	0.0	300.0
	8	0.0620	0.0450	1.4740	0.0	300.0
	9	0.0790	0.0514	1.4740	0.0	300.0
	10	0.0870	0.0602	0.2900	0.0	1100.0
	11	0.1050	0.0672	0.2900	0.0	1100.0
	12	0.0560	0.0716	0.2900	0.0	1100.0
	13	0.0970	0.0742	0.2900	0.0	1100.0
	14	0.0980	0.0752	0.2900	0.0	1100.0
	15	0.1100	0.0759	0.2900	0.0	1100.0
	16	0.0930	0.0763	0.2900	0.0	1100.0
	17	0.0570	0.0755	0.2900	0.0	1100.0
	18	0.0510	0.0744	0.2900	0.0	1100.0
	19	0.0440	0.0730	0.2900	0.0	1100.0
	20	0.0540	0.0729	0.2900	0.0	1100.0
	21	0.0680	0.0692	0.2900	0.0	1100.0
	22	0.0460	0.0665	0.6460	0.0	700.0
	23	0.0590	0.0559	0.6460	0.1175	700.0
	24	0.0440	0.0489	0.6460	0.0	700.0
C = 0.0592				CHAT = 0.0577		

Table 1-A-4 (3)

Date	Time	Cobs.	Chat	T	Rain Re.	Z
19681211	1	0.0350	0.0446	0.6460	0.0	700.0
	2	0.0370	0.0415	0.6460	0.0	700.0
	3	0.0300	0.0394	0.6460	0.0	700.0
	4	0.0230	0.0385	0.6460	0.0	700.0
	5	0.0320	0.0382	0.6460	0.0	700.0
	6	0.0260	0.0383	0.5230	0.0	700.0
	7	0.0380	0.0429	0.3230	0.0	700.0
	8	0.0590	0.0561	0.3230	0.0	700.0
	9	0.0540	0.0694	0.6270	0.0	700.0
	10	0.0310	0.0665	0.9670	0.0	700.0
	11	0.0280	0.0510	0.9670	0.0	700.0
	12	0.0280	0.0441	0.9670	0.0	700.0
	13	0.0270	0.0407	0.9670	0.0	700.0
	14	0.0270	0.0383	0.9670	0.0	700.0
	15	0.0290	0.0373	0.9670	0.0	700.0
	16	0.0320	0.0368	0.2900	0.0	1100.0
	17	0.0450	0.0460	0.2900	0.0	1100.0
	18	0.0460	0.0523	0.2900	0.0	1100.0
	19	0.0610	0.0564	0.2900	0.0	1100.0
	20	0.0580	0.0605	0.2900	0.0	1100.0
	21	0.0620	0.0600	0.2900	0.0	1100.0
	22	0.0560	0.0596	0.2900	0.0	1100.0
	23	0.0580	0.0603	0.2900	0.0	1100.0
	24	0.0600	0.0599	0.2900	0.0	1100.0

C= 0.0409

CHAT= 0.0491

19681212	1	0.0470	0.0470	0.2900	0.0	1100.0
	2	0.0440	0.0488	0.2900	0.0	1100.0
	3	0.0360	0.0497	0.2900	0.0	1100.0
	4	0.0350	0.0506	0.2900	0.1175	1100.0
	5	0.0320	0.0514	0.2900	0.3525	1100.0
	6	0.0330	0.0522	0.2900	0.3525	1100.0
	7	0.0330	0.0534	0.5800	0.1175	500.0
	8	0.0390	0.0610	0.5800	0.1175	500.0
	9	0.0420	0.0699	0.5800	0.3525	500.0
	10	0.0600	0.0813	0.5800	0.5875	500.0
	11	0.0480	0.0881	0.5800	0.5875	500.0
	12	0.0440	0.0902	0.5800	0.3525	500.0
	13	0.0420	0.0903	0.5800	1.5275	500.0
	14	0.0380	0.0884	0.5800	2.2325	500.0
	15	0.0390	0.0872	1.3000	1.5275	500.0
	16	0.0400	0.0514	1.3000	1.0575	500.0
	17	0.0480	0.0402	1.3000	0.5875	500.0
	18	0.0500	0.0563	1.3000	1.5275	500.0
	19	0.0420	0.0344	1.3000	0.5875	500.0
	20	0.0660	0.0353	1.3000	0.1175	500.0
	21	0.0630	0.0305	1.3000	0.3525	500.0
	22	0.0470	0.0291	1.3000	0.1175	500.0
	23	0.0450	0.0303	1.3000	0.0	500.0
	24	0.0530	0.0291	1.3000	0.0	500.0

C= 0.0444

CHAT= 0.0553

Table 1-A-4 (4)

Date	Time	Cobs.	Chat	I	Rain Re.	Z
19681213	1	0.0420	0.0281	1.3000	0.0	500.0
	2	0.0360	0.0269	1.3000	0.0	500.0
	3	0.0340	0.0261	1.3000	0.0	500.0
	4	0.0340	0.0261	1.3000	0.0	500.0
	5	0.0320	0.0263	1.3000	0.0	500.0
	6	0.0360	0.0266	1.3000	0.0	500.0
	7	0.0330	0.0276	1.3000	0.0	500.0
	8	0.0450	0.0304	1.3000	0.0	500.0
	9	0.0420	0.0347	1.3000	0.0	500.0
	10	0.0390	0.0405	1.3000	0.0	500.0
	11	0.0290	0.0424	1.3000	0.0	500.0
	12	0.0340	0.0417	0.9670	0.0	700.0
	13	0.0340	0.0398	0.9670	0.0	700.0
	14	0.0280	0.0380	0.9670	0.0	700.0
	15	0.0390	0.0372	0.6560	0.0	700.0
	16	0.0520	0.0452	0.6560	0.0	700.0
	17	0.0320	0.0479	0.6560	0.0	700.0
	18	0.0320	0.0486	0.6560	0.0	700.0
	19	0.0410	0.0482	0.6560	0.0	700.0
	20	0.0390	0.0493	0.6560	0.0	700.0
	21	0.0360	0.0451	1.4700	0.0	300.0
	22	0.0350	0.0428	1.4700	0.0	300.0
	23	0.0250	0.0448	1.4700	0.0	300.0
	24	0.0380	0.0428	1.4700	0.0	300.0

C = 0.0361

CHAT = 0.0375

19681214	1	0.0360	0.0413	1.4700	0.0	300.0
	2	0.0260	0.0396	1.4700	0.0	300.0
	3	0.0260	0.0384	1.4700	0.0	300.0
	4	0.0390	0.0384	1.4700	0.0	300.0
	5	0.0290	0.0388	1.4700	0.0	300.0
	6	0.0380	0.0393	1.4700	0.0	300.0
	7	0.0470	0.0407	1.4700	0.0	300.0
	8	0.0630	0.0451	1.4700	0.0	300.0
	9	0.0620	0.0515	1.4700	0.0	300.0
	10	0.0750	0.0604	1.4700	0.0	300.0
	11	0.0820	0.0626	1.4700	0.0	300.0
	12	0.0810	0.0515	1.4700	0.0	300.0
	13	0.0670	0.0599	1.4700	0.0	300.0
	14	0.0640	0.0574	1.4700	0.0	300.0
	15	0.0690	0.0566	1.4700	0.0	300.0
	16	0.0520	0.0561	1.4700	0.1175	300.0
	17	0.0640	0.0537	1.4700	0.1175	300.0
	18	0.0570	0.0520	1.4700	0.1175	300.0
	19	0.0450	0.0502	1.4700	0.3525	300.0
	20	0.0390	0.0520	1.4700	0.0575	300.0
	21	0.0400	0.0465	1.4700	0.3225	300.0
	22	0.0470	0.0427	1.4700	0.5875	300.0
	23	0.0410	0.0447	1.4700	0.3525	300.0
	24	0.0400	0.0428	1.4700	0.3525	300.0

C = 0.0512

CHAT = 0.0488

Table 1-A-4 (5)

Date	Time	Cobs.	Chat	Γ	Rain Re.	Z
19681217	1	0.0340	0.0340	0.7000	0.0	700.0
	2	0.0350	0.0346	0.7000	0.0	700.0
	3	0.0370	0.0344	0.7000	0.0	700.0
	4	0.0460	0.0345	0.7000	0.0	700.0
	5	0.0310	0.0348	0.7000	0.0	700.0
	6	0.0380	0.0351	0.6480	0.0	700.0
	7	0.0420	0.0375	0.5230	0.0	700.0
	8	0.0690	0.0450	0.3230	0.0	700.0
	9	0.0840	0.0614	0.3230	0.0	700.0
	10	0.0540	0.0784	0.6270	0.0	700.0
	11	0.0680	0.0716	0.9670	0.0	700.0
	12	0.0510	0.0519	0.9670	0.0	700.0
	13	0.0480	0.0437	0.9670	0.0	700.0
	14	0.0540	0.0395	0.9670	0.0	700.0
	15	0.0590	0.0378	0.9670	0.0	700.0
	16	0.0550	0.0370	0.6560	0.0	700.0
	17	0.0620	0.0437	0.6560	0.0	700.0
	18	0.0540	0.0464	0.6560	0.0	700.0
	19	0.0530	0.0470	0.6560	0.0	700.0
	20	0.0580	0.0487	0.6560	0.0	700.0
	21	0.0720	0.0448	0.6560	0.0	700.0
	22	0.0600	0.0427	0.6560	0.0	700.0
	23	0.0700	0.0431	0.6560	0.0	700.0
	24	0.0690	0.0419	0.6560	0.0	700.0
C= 0.0560				CHAT= 0.0446		

19681219	1	0.0320	0.0320	1.4700	0.1175	300.0
	2	0.0310	0.0374	1.4700	0.1175	300.0
	3	0.0380	0.0379	1.4700	0.1175	300.0
	4	0.0350	0.0383	1.4700	0.1175	300.0
	5	0.0310	0.0388	1.4700	0.3525	300.0
	6	0.0290	0.0393	1.4700	1.0575	300.0
	7	0.0340	0.0407	1.4700	0.3525	300.0
	8	0.0430	0.0451	1.4700	0.1175	300.0
	9	0.0500	0.0515	1.4700	0.1175	300.0
	10	0.0490	0.0604	1.4700	0.0	300.0
	11	0.0490	0.0628	1.4700	0.0	300.0
	12	0.0600	0.0515	0.7270	0.0	300.0
	13	0.0520	0.0518	0.7270	0.0	700.0
	14	0.0460	0.0597	0.7270	0.0	700.0
	15	0.0470	0.0589	0.7540	0.0	700.0
	16	0.0490	0.0521	0.7540	0.0	700.0
	17	0.0420	0.0476	0.7540	0.0	700.0
	18	0.0570	0.0448	0.6670	0.0	600.0
	19	0.0440	0.0496	0.6670	0.0	600.0
	20	0.0450	0.0537	0.6670	0.0	600.0
	21	0.0470	0.0502	0.6670	0.0	600.0
	22	0.0460	0.0484	0.5800	0.0	600.0
	23	0.0560	0.0524	0.5800	0.0	600.0
	24	0.0530	0.0529	0.5800	0.0	600.0
C= 0.0442				CHAT= 0.0509		

Table 1-A-4 (6)

Date	Time	Cobs.	Chat	Γ	Rain Re.	Z
19681221	1	0.0520	0.0520	0.2900	0.0	1100.0
	2	0.0580	0.0525	0.2900	0.0	1100.0
	3	0.0660	0.0525	0.2900	0.0	1100.0
	4	0.0620	0.0227	0.5800	0.0	500.0
	5	0.0660	0.0556	0.5800	0.1175	500.0
	6	0.0770	0.0575	1.3000	0.1175	500.0
	7	0.0770	0.0360	1.3000	0.3525	500.0
	8	0.0830	0.0327	1.3000	0.1175	500.0
	9	0.1110	0.0353	1.3000	0.0	500.0
	10	0.1430	0.0407	1.3000	0.0	500.0
	11	0.1380	0.0425	1.3000	0.0	500.0
	12	0.1080	0.0418	1.3000	0.0	500.0
	13	0.0740	0.0407	1.3000	0.0	500.0
	14	0.0640	0.0390	1.3000	0.0	500.0
	15	0.0850	0.0384	1.3000	0.0	500.0
	16	0.0660	0.0381	1.3000	0.0	500.0
	17	0.0810	0.0365	1.3000	0.0	500.0
	18	0.0460	0.0353	1.3000	0.0	500.0
	19	0.0350	0.0341	1.3000	0.0	500.0
	20	0.0400	0.0353	1.3000	0.0	500.0
	21	0.0410	0.0305	1.3000	0.0	500.0
	22	0.0380	0.0291	1.3000	0.0	500.0
	23	0.0390	0.0303	1.3000	0.0	500.0
	24	0.0350	0.0251	1.3000	0.0	500.0

C = 0.0702

CHAT = 0.0403

19681221	1	0.0550	0.0250	0.5800	0.1175	500.0
	2	0.0500	0.0226	0.5800	0.1175	500.0
	3	0.0530	0.0307	0.5800	0.1175	500.0
	4	0.0490	0.0498	0.5800	0.1175	500.0
	5	0.0460	0.0496	0.5800	0.1175	500.0
	6	0.0530	0.0496	0.5800	0.1175	500.0
	7	0.0580	0.0524	0.5800	0.1175	500.0
	8	0.0750	0.0681	0.5800	0.1175	500.0
	9	0.0900	0.0841	0.5800	0.1175	500.0
	10	0.1450	0.0960	0.8010	0.3525	500.0
	11	0.1130	0.0753	0.8010	0.0	500.0
	12	0.0670	0.0647	0.8010	0.0	500.0
	13	0.0230	0.0591	0.8010	0.0	500.0
	14	0.0280	0.0551	0.8010	0.0	500.0
	15	0.0470	0.0535	0.7700	0.0	500.0
	16	0.0610	0.0534	0.7700	0.0	500.0
	17	0.0510	0.0219	0.6670	0.0	500.0
	18	0.0550	0.0542	0.6670	0.0	500.0
	19	0.0470	0.0545	0.6670	0.0	500.0
	20	0.0440	0.0561	0.5880	0.0	1100.0
	21	0.0470	0.0221	0.3880	0.0	1100.0
	22	0.0510	0.0494	0.5880	0.0	1100.0
	23	0.0350	0.0486	0.3880	0.0	1100.0
	24	0.0380	0.0470	0.3880	0.0	1100.0

C = 0.0575

CHAT = 0.0576

Table 1-A-5 Estimated Value Z when a Value of Γ was given Deterministically

Date	3			4			5			6		
Time(o'clock)	U	Z		U	Z		U	Z		U	Z	
2	1.59	445		1.11	1215		2.98	481		2.99	373	
3	1.77	384		1.18	1010		2.99	495		2.95	274	
4	1.47	450		1.14	660		3.59	470		2.53	295	
5	1.90	560		1.12	805		3.21	480		2.16	380	
6	1.34	590		1.25	580		3.29	504		1.83	440	
7	1.34	464		1.42	406		2.87	397		1.28	393	
8	1.06	443		1.59	350		3.00	367		1.37	372	
9	0.86	321		1.95	426		3.33	335		2.21	520	
10	1.35	265		2.39	524		2.25	252		1.39	775	
11	1.27	310		2.49	572		2.72	356		2.16	834	
12	1.33	375		2.10	625		2.32	410		2.33	703	
13	2.70	420		1.65	600		2.23	345		1.79	720	
14	4.02	430		1.49	585		1.81	406		2.17	573	
15	4.06	405		1.57	534		2.33	474		2.03	494	
16	4.32	400		1.54	413		2.73	410		1.77	731	
17	4.22	400		1.87	405		2.61	370		1.67	740	
18	4.03	385		1.82	386		2.69	386		1.60	580	
19	3.50	430		2.07	440		3.37	343		1.49	633	
20	2.90	490		2.11	470		2.59	332		1.42	680	
21	2.23	540		2.47	394		2.46	390		1.27	740	
22	1.70	680		2.41	370		2.49	400		1.62	581	
23	1.58	700		2.74	475		2.78	410		1.52	635	

Table 1-A-5 (2)

Date	7		10		11		12	
Time (o'clock)	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
2	1.50	660	1.66	750	1.15	840	2.17	473
3	1.66		1.22	763	1.21	950	2.38	510
4	1.78		1.58	740	1.42	810	2.18	509
5	1.62		1.57	663	1.44	790	2.23	455
6	1.65		1.74	455	1.26	760	2.51	382
7	1.42	443	2.09	340	1.16	485	3.16	376
8	1.61	414	2.01	291	1.41	522	2.93	395
9	1.51	435	2.56	313	2.08	673	2.98	340
10	1.54	457	2.56	286	2.67	796	3.17	326
11	1.24	546	3.02	354	2.44	840	3.21	338
12	1.54	465	2.40	365	2.00	860	3.46	362
13	1.54	353	2.74	265	2.04	850	3.49	332
14	1.73	194	2.23	270	2.23	773	3.54	223
15	1.46	177	2.38	310	2.23	710	2.95	230
16	1.32	217	2.16	434	2.12	565	3.07	231
17	1.06	312	2.16	570	1.91	516	2.57	270
18	0.99	527	1.95	556	1.91	456	2.32	290
19	1.36	610	2.05	471	1.87	445	1.58	283
20	1.42	720	2.05	340	1.79	463	1.68	304
21	1.19	576	2.05	416	1.76	424	2.48	326
22	1.51	470	1.85	490	1.82	455	3.13	326
23	1.32	574	1.85	480	1.82	410	3.36	300

Table 1-A-5 (3)

Date	13		14		16		17	
	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
2	3.21	405	1.13	970	3.14		2.38	440
3	2.72	445	1.25	800	2.75		2.59	360
4	2.34	475	1.81	750	2.29		3.32	380
5	2.80	436	1.72	600	2.39		3.05	423
6	3.20	394	1.83	470	2.43		2.71	390
7	3.75	323	1.57	425	2.53		1.98	356
8	3.85	343	1.61	456	2.22		1.52	362
9	3.98	410	1.71	465	1.71	480	1.40	374
10	3.79	510	2.05	385	2.26	500	2.71	386
11	3.41	542	2.32	363	2.69	516	2.88	440
12	3.88	493	2.60	386	2.96	510	3.18	430
13	3.41	525	2.33	440	3.56	345	3.57	361
14	3.64	492	2.12	426	4.09	220	4.18	300
15	3.00	386	1.99	500	4.33	230	4.48	282
16	3.18	427	1.84	490	4.35	268	4.13	380
17	3.70	518	1.96	400	4.27	253	3.06	342
18	3.00	450	2.01	506	4.85	214	2.27	446
19	2.64	500	1.80	385	5.08	226	1.62	457
20	2.09	575	1.29	463	4.67	281	1.48	420
21	1.46	663	1.58	335	4.20	256	1.32	473
22	1.35	927	1.37	363	4.25	250	1.36	480
23	1.31	807	1.65	450	3.90	286	1.44	420

Table 1-A-5 (4)

Date Time(0'clock)	18		19		20		21	
	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
2	1.42	510	2.96	370	1.17	790	1.71	372
3	1.41	560	3.63	320	1.09	680	1.63	396
4	1.15	705	4.12	330	1.33	640	1.37	440
5	1.23	665	4.07	340	1.19	640	1.45	360
6	1.17	655	3.17	310	1.08	625	1.26	330
7	1.89	426	2.95	290	1.33	512	1.78	296
8	1.32	293	2.85	340	1.43	406	1.24	260
9	1.34	320	2.72	490	1.27	465	0.96	365
10	1.14	382	2.24	540	1.13	616	0.79	420
11	1.04	510	1.60	570	1.70	686	1.40	420
12	1.01	620	1.44	610	1.17	550	2.62	386
13	1.88	574	1.94	610	1.49	373	3.14	435
14	1.80	560	2.91	500	2.27	306	3.49	278
15	2.14	557	2.98	430	2.64	400	3.09	267
16	1.91	415	2.69	470	1.58	456	4.70	220
17	1.78	370	2.29	450	1.43	576	7.21	220
18	2.09	414	2.23	460	1.33	413	2.66	410
19	2.07	414	2.17	480	1.62	330	2.25	520
20	1.80	425	1.79	450	1.78	456	2.51	440
21	2.21	425	1.73	520	1.21	455	2.53	462
22	1.97	436	1.04	510	1.31	432	2.16	515
23	2.10	410	1.13	530	1.61	430	2.02	570

Table 1-A-5 (5)

Date Time (o'clock)	23		24		25	
	U	Z	U	Z	U	Z
2	4.01		1.58	496	1.08	600
3	3.25		1.70	480	1.56	570
4	3.39		1.25	587	1.25	670
5	3.86		1.22	570	1.21	700
6	3.72		1.30	512	1.37	530
7	3.89	352	1.20	426	1.58	446
8	3.61	396	1.64	362	1.55	340
9	3.38	437	1.57	315	1.70	360
10	4.19	410	1.35	300	1.46	475
11	4.57	383	3.23	330	1.15	605
12	5.31	362	4.48	315	1.43	570
13	4.72	350	4.85	540	1.71	480
14	4.54	320	4.91	341	2.29	384
15	4.60	303	4.45	278	2.75	324
16	3.96	350	3.68	320	2.29	400
17	2.60	440	2.25	440	2.01	470
18	2.03	510	1.69	540	1.75	462
19	1.93	410	1.42	740	1.26	610
20	1.61	416	1.11	740	1.34	670
21	1.53	490	1.10	637	1.38	560
22	1.54	510	1.43	782	1.31	475
23	1.19	575	1.20	766	1.44	485

Table 1-A-6 Meteorological Data (Wind Speed, Insolation, Cloudiness) and Parameter Z

6 o'clock (N=16)			7 o'clock (N=17)		
W.V. (m/s)	cloudi- ness	Z (m)	W.V. (m/s)	cloudi- ness	Z (m)
1.25	4	580	1.42	3.2	406
1.83	10	440	2.87	10	397
1.65	8.2	630	1.28	2.8	393
1.74	10	455	1.42	8.6	443
1.26	3.7	760	2.09	10	340
2.51	10	382	1.16	4.4	485
3.2	9	394	3.16	9.6	376
1.83	0.7	470	3.75	8.8	323
2.71	5.7	390	1.57	1.6	425
1.17	1	655	1.98	4.6	356
3.17	10	310	1.89	0.8	426
1.08	10	625	2.95	10	290
1.26	9.5	330	1.33	8.0	512
1.3	10	512	3.89	0	352
1.37	5	530	1.20	9.6	426
1.37	0	580	1.58	4.8	446
			1.33	0	490

8 o'clock (N=17)			9 o'clock (N=18)			
W.V. (m/s)	cloudi- ness	Z (m)	W.V. (m/s)	Cloudi- ness	Inso- lation	Z (m)
1.59	3.8	350	1.95	4	12	426
3.00	10.0	367	3.33	10	0	335
1.37	2.6	372	2.21	2.4	13	520
1.61	8.6	414	1.51	8.6	7	432
2.01	10.0	290	2.56	10	2	313
1.41	5.0	522	2.08	5.0	12	673
2.93	10.0	395	2.98	10	4	340
3.85	9.0	343	3.98	7.6	10	410
1.61	1.4	456	1.71	3.6	8	465
1.52	4.6	362	1.71	1.2	9	480
1.32	0.8	293	1.40	6.6	10	374
2.85	10	340	1.34	1.2	11	320
1.43	9.8	406	2.72	10	2	490
3.61	0	396	1.27	8.8	8	460
1.64	10	362	3.38	0.5	9	437
1.55	6.0	340	1.57	10	4	315
1.44	0.2	380	1.70	10	11	360
			1.76	4	3	345

Table 1-A-6 (2)

10 o'clock (N=18)				11 o'clock (N=18)			
W.V. (m/s)	Cloudi- ness	Inso- lation	Z (m)	W.V. (m/s)	Cloudi- ness	Inso- lation	Z (m)
2.39	4	31	524	2.49	4	57	572
2.25	10	1	252	2.72	10	5	356
1.39	2.4	33	775	2.16	2.4	57	834
1.54	8.6	21	457	1.24	8.6	41	546
2.56	10	9	286	3.02	10	21	354
2.67	5	29	796	2.44	5.0	49	840
3.17	10	5	326	3.21	10	9	338
3.79	7.6	33	510	3.41	7.6	40	542
2.05	3.6	14	385	2.32	3.6	21	363
2.26	1.2	29	500	2.69	1.2	57	512
2.71	6.6	26	386	2.88	6.6	50	440
1.14	1.2	24	382	1.04	1.2	44	510
2.24	10	6	540	1.6	10	12	570
1.13	8.8	26	616	1.70	8.8	48	686
4.19	0.5	28	410	4.57	0.5	56	383
1.35	10	11	300	3.23	10	29	330
1.64	10	29	475	1.15	10	49	605
1.61	4	10	325	1.55	4.0	21	415

12,13 o'clock (N=19)			
W.V. (m/s)	Coudi- ness	Inso- lation	Z (m)
2.1	1.4	149	625
1.65	1.4	149	600
2.0	9.4	141	860
2.04	9.4	141	850
3.88	8.0	98	493
3.41	8.0	98	525
2.96	8.0	138	510
3.56	6.2	138	345
3.18	6.2	170	430
3.57	2.6	170	361
1.01	5.4	120	620
1.88	5.4	120	574
1.44	9.2	53	610
1.94	9.2	53	610
5.31	1.2	185	362
4.72	1.2	185	350
1.43	5.0	108	570
1.71	5.0	108	480
1.45	10.0	34	435

Table 1-A-6 (3)

17-5 o'clock (N=41) (Wind direction:7-14)					
W.V. (m/s)	Z (m)	W.V. (m/s)	Z (m)	W.V. (m/s)	Z (m)
1.09	680	2.50	400	1.17	788
2.60	330	1.18	640	260	360
1.25	610	2.77	410	1.33	640
2.95	370	1.33	670	2.95	275
1.32	475	3.25	295	1.36	490
3.33	342	1.45	485	3.36	380
1.43	420	3.60	270	1.47	420
3.90	285	1.63	460	4.20	255
1.75	463	4.25	250	1.85	480
4.70	276	1.85	490	4.68	220
1.95	553	5.07	224	2.05	342
7.02	224	2.05	416	2.53	294
2.05	470	2.16	382	2.28	446
2.38	440	2.46	390		
17-5 o'clock (N=93) (Wind direction:15,16,1-3)					
W.V. (m/s)	Z (m)	W.V. (m/s)	Z (m)	W.V. (m/s)	Z (m)
1.17	1205	1.17	1010	1.13	970
1.20	950	1.35	923	1.43	890
1.15	840	1.70	830	1.12	800
1.25	800	1.30	806	1.42	810
1.23	782	1.44	790	1.20	765
1.12	740	1.26	743	1.42	740
1.80	750	1.43	720	1.21	702
1.30	705	1.57	700	4.14	330
2.08	570	1.30	682	1.40	680
1.47	685	1.70	680	1.25	670
1.10	640	1.10	660	1.47	662
1.50	660	1.32	640	1.37	635
1.48	640	1.50	630	1.50	630
1.33	584	1.70	600	1.18	577
1.27	574	1.56	570	1.60	580
1.64	580	2.03	570	1.90	560
1.67	540	2.46	540	1.70	520
2.17	516	2.16	516	2.24	518
2.00	504	2.18	505	2.37	508
2.63	500	1.53	470	1.77	423
1.80	463	1.80	455	1.80	447
1.80	425	1.82	410	1.83	445
1.92	455	1.97	436	2.05	440

2.07	422	2.10	415	2.12	413
2.12	470	2.15	480	2.17	473
2.22	425	2.23	460	2.25	453
2.33	475	2.41	370	2.47	392
2.53	440	2.52	465	2.65	407
2.73	445	2.80	435	2.97	370
3.00	450	3.21	405	3.50	430
3.63	320	4.03	385	4.06	340

Table 1-A-7 Regression Analysis between Parameter Z and Meteorological Factors

6 o'clock	$Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2/\text{U}$			
Variance-covariance Matrix				
ROW/COL,	Cd/U	1/U	Z	
Cd/U	1.0			
1/U	0.336	1.0		
Z	-0.042	0.648	1.0	
Regression Coefficient			Multi. Corr.	
a_0	a_1	a_2		
268.0	0	384.8	0.648	
282.8	-13.7	443.0	0.704	

7 o'clock	$Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2/\text{U}$			
Variance-covariance Matrix				
ROW/COL,	Cd/U	1/U	Z	
Cd/U	1.0			
1/U		1.0		
Z	-0.161	0.772	1.0	
Regression Coefficient			Multi. Corr.	
a_0	a_1	a_2		
274.5	0	228.9	0.771	
277.6	-3.14	240.4	0.779	

8 o'clock	$Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2/\text{U}$			
Variance-covariance Marix				
ROW/COL,	Cd/U	1/U	Z	
Cd/U	1.0			
1/U	0.078	1.0		
Z	0.014	0.16	1.0	
Regression Coefficient			Multi. Corr.	
a_0	a_1	a_2		
346.9	0	51.96	0.160	
346.8	0.040	51.93	0.160	

Table 1-A-7 (2)

$$9 \text{ o'clock} \quad Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2 \text{q/U} + a_3 \text{/U}$$

Variance-covariance Matrix

ROW/COL,	Cd/U	q/U	1/U	Z
Cd/U	1.0			
q/U	0.002	1.0		
1/U	0.429	0.717	1.0	
Z	-0.238	0.289	0.049	1.0

Regression Coefficient

a_0	a_1	a_2	a_3	Multi. Corr.
347.0	0	10.54	0	0.289
469.9	0	24.31	294.6	0.467
469.5	-0.948	23.83	-284.2	0.467

$$10 \text{ o'clock} \quad Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2 \text{q/U} + a_3 \text{/U}$$

Variance-covariance Matrix

ROW/COL,	Cd/U	q/U	1/U	Z
Cd/U	1.0			
q/U	0.111	1.0		
1/U	0.502	0.712	1.0	
Z	-0.125	0.580	0.116	1.0

Regression Coefficient

a_0	a_1	a_2	a_3	Multi. Corr.
326.2	0	12.34	0	0.580
465.6	0	20.90	-443.4	0.710
466.5	5.55	21.75	-497.8	0.713

$$11 \text{ o'clock} \quad Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2 \text{q/U} + a_3 \text{/U}$$

Variance-covariance Matrix

ROW/COL,	Cd/U	q/U	1/U	Z
Cd/U	1.0			
q/U	0.264	1.0		
1/U	0.545	0.766	1.0	
Z	0.110	0.556	0.294	1.0

Regression Coefficient

a_0	a_1	a_2	a_3	Multi. Corr.
381.6	0	7.09	0	0.556
438.5	0	10.20	-233.8	0.592
438.5	7.61	10.73	-301.9	0.599

Table 1-A-7 (3)

12-13 o'clock $Z = a_0 + a_1 \text{Cd/U} + a_2 \text{q/U} + a_3 \text{l/U}$

Variance-covariance Matrix

ROW/COL,	Cd/U	q/U	l/U	Z
Cd/U	1.0			
q/U	0.053	1.0		
l/U	0.720	0.626	1.0	
Z	0.509	0.475	0.477	1.0

Regression Coefficient

a_0	a_1	a_2	a_3	Multi. Corr.
435.8	35.90	0	0	0.509
297.2	34.20	2.66	0	0.678
303.8	89.30	6.61	-797.6	0.795

17-5 o'clock

Sea Breeze : $Z = 132.4 + 591.7/\text{U}$ Multi. Corr.
= 0.901

Land Breeze: $Z = 127.4 + 779.1/\text{U}$ Multi. Corr.
= 0.805

Table 1-A-8 Estimated Values of Air Pollution Concentration
by the Use of Meteorological Factors (Wind Speed,
Insolation, Cloudiness)

19681203	Sea Br.=0	Land Br.=0				
Time	Conc .	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.063	0.063	0.74	0.117	709	1.34
2	0.051	0.042	0.80	0.0	621	1.58
3	0.060	0.037	0.75	0.0	570	1.76
4	0.062	0.038	0.83	0.117	660	1.46
5	0.048	0.031	0.73	0.117	540	1.89
6	0.038	0.035	0.59	0.117	511	1.34
7	0.041	0.042	0.50	0.117	433	1.34
8	0.060	0.058	0.41	0.0	477	1.06
9	0.076	0.078	0.43	0.0	381	0.85
10	0.131	0.109	0.52	0.0	385	1.35
11	0.178	0.121	0.56	0.0	471	1.26
12	0.157	0.113	1.01	0.0	689	1.33
13	0.108	0.065	1.49	0.0	510	2.70
14	0.051	0.039	1.85	0.0	463	4.01
15	0.040	0.030	1.82	0.0	403	4.66
16	0.035	0.033	1.65	0.0	360	4.32
17	0.035	0.038	1.51	0.0	314	4.21
18	0.034	0.045	1.39	0.0	323	4.03
19	0.039	0.047	1.23	0.0	352	3.49
20	0.026	0.051	1.03	0.0	398	2.90
21	0.041	0.047	0.35	0.0	479	2.22
22	0.025	0.046	0.77	0.0	587	1.70
23	0.040	0.045	0.78	0.0	622	1.58
24	0.027	0.041	0.79	0.0	597	1.66
19681204	Sea Br.=0	Land Br.=0				
1	0.040	0.040	0.60	0.0	805	1.15
2	0.039	0.037	0.62	0.0	829	1.11
3	0.016	0.035	0.61	0.0	790	1.17
4	0.037	0.035	0.60	0.0	815	1.13
5	0.034	0.034	0.64	0.0	826	1.11
6	0.037	0.033	0.63	0.0	593	1.25
7	0.049	0.040	0.63	0.0	436	1.41
8	0.073	0.056	0.72	0.0	419	1.59
9	0.086	0.067	0.93	0.0	468	1.94
10	0.069	0.064	1.12	0.0	551	2.39
11	0.052	0.051	1.07	0.0	581	2.49
12	0.046	0.045	0.79	0.0	456	2.10
13	0.042	0.060	0.75	0.0	620	1.64
14	0.053	0.056	0.72	0.0	628	1.49
15	0.055	0.055	0.74	0.0	633	1.51
16	0.067	0.053	0.82	0.0	631	1.54
17	0.082	0.048	0.84	0.0	546	1.87
18	0.073	0.048	0.89	0.0	557	1.82
19	0.081	0.045	0.92	0.0	507	2.06
20	0.053	0.047	1.01	0.0	498	2.11
21	0.045	0.040	1.02	0.0	445	2.46
22	0.054	0.040	1.01	0.0	375	2.40
23	0.045	0.048	1.11	0.0	414	2.74
24	0.034	0.042	1.11	0.0	416	2.71

Table 1-A-8 (2)

19681205	Sea BR.=0	Land BR.=0				
Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.033	0.033	1.21	0.0	376	3.15
2	0.029	0.038	1.19	0.0	391	2.98
3	0.026	0.036	1.31	0.0	390	2.98
4	0.026	0.033	1.29	0.0	347	3.58
5	0.026	0.037	1.27	0.0	372	3.20
6	0.024	0.036	1.21	0.007	375	3.29
7	0.024	0.036	1.12	0.352	350	2.87
8	0.037	0.038	1.20	0.352	347	3.00
9	0.039	0.047	1.30	3.407	381	3.32
10	0.038	0.015	1.12	1.292	335	3.25
11	0.041	0.032	0.99	0.587	375	2.72
12	0.038	0.042	0.95	0.352	444	2.31
13	0.048	0.044	0.85	0.352	450	2.22
14	0.065	0.045	0.89	0.0	477	1.81
15	0.055	0.052	1.04	0.0	417	2.33
16	0.054	0.055	1.05	0.0	372	2.73
17	0.057	0.058	1.02	0.0	356	2.61
18	0.060	0.060	1.16	0.0	349	2.69
19	0.046	0.056	1.15	0.117	360	3.37
20	0.057	0.052	0.97	0.0	358	2.58
21	0.052	0.052	0.97	0.0	370	2.45
22	0.049	0.052	1.02	0.0	367	2.49
23	0.046	0.052	1.03	0.0	343	2.77
24	0.042	0.052	1.02	0.0	353	2.65
19681206	Sea Br.=0	Land Br.=0				
1	0.047	0.047	1.10	0.0	337	2.85
2	0.035	0.047	1.10	0.0	328	2.98
3	0.044	0.046	1.02	0.0	330	2.94
4	0.063	0.048	0.91	0.0	363	2.53
5	0.057	0.050	0.81	0.0	403	2.16
6	0.057	0.052	0.69	0.0	509	1.83
7	0.054	0.051	0.56	0.0	459	1.27
8	0.083	0.063	0.75	0.0	447	1.36
9	0.082	0.066	1.00	0.0	479	2.21
10	0.047	0.061	1.05	0.0	568	2.38
11	0.031	0.051	1.07	0.0	603	2.16
12	0.035	0.045	0.91	0.0	502	2.32
13	0.037	0.052	0.93	0.0	586	1.79
14	0.033	0.048	0.95	0.0	540	2.17
15	0.051	0.048	0.84	0.0	503	2.03
16	0.050	0.053	0.80	0.0	574	1.76
17	0.035	0.052	0.77	0.0	595	1.67
18	0.043	0.050	0.74	0.0	617	1.59
19	0.048	0.049	0.71	0.0	653	1.48
20	0.048	0.049	0.67	0.0	678	1.41
21	0.045	0.045	0.74	0.0	742	1.27
22	0.045	0.039	0.75	0.0	609	1.62
23	0.046	0.041	0.71	0.0	641	1.52
24	0.042	0.041	0.70	0.0	686	1.40

Table 1-A-8 (3)

19681207 Sea Br.=14 Land Br.=0

Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.037	0.037	0.74	0.0	607	1.63
2	0.042	0.038	0.77	0.0	648	1.50
3	0.040	0.035	0.81	0.0	598	1.66
4	0.041	0.035	0.79	0.0	566	1.78
5	0.040	0.036	0.78	0.0	609	1.62
6	0.039	0.036	0.67	0.0	482	1.65
7	0.045	0.046	0.63	0.0	428	1.42
8	0.071	0.060	0.63	0.0	407	1.60
9	0.077	0.074	0.60	0.0	387	1.50
10	0.093	0.094	0.59	0.0	462	1.53
11	0.094	0.097	0.65	0.0	595	1.24
12	0.083	0.083	0.79	0.0	742	1.54
13	0.104	0.103	0.84	0.0	741	1.54
14	0.095	0.098	0.79	0.0	674	1.73
15	0.121	0.089	0.67	0.0	639	1.45
16	0.123	0.084	0.57	0.0	620	1.31
17	0.122	0.083	0.56	0.0	864	1.06
18	0.105	0.072	0.66	0.0	913	0.99
19	0.070	0.055	0.70	0.0	704	1.35
20	0.058	0.050	0.65	0.0	677	1.42
21	0.033	0.046	0.71	0.0	787	1.18
22	0.043	0.039	0.69	0.0	647	1.50
23	0.049	0.042	0.65	0.0	719	1.32
24	0.039	0.040	0.64	0.0	756	1.24

19681210 Sea Br.=6 Land Br.=20

1	0.023	0.023	0.86	0.0	453	2.41
2	0.022	0.035	0.68	0.0	599	1.65
3	0.027	0.038	0.67	0.0	616	1.21
4	0.027	0.039	0.69	0.0	504	1.57
5	0.029	0.044	0.80	0.0	627	1.56
6	0.032	0.038	0.81	0.0	458	1.74
7	0.051	0.062	0.80	0.0	377	2.08
8	0.062	0.077	0.90	0.0	381	2.01
9	0.079	0.080	1.00	0.0	373	2.56
10	0.087	0.076	1.08	0.0	365	2.55
11	0.105	0.072	1.13	0.0	435	3.02
12	0.056	0.066	1.17	0.0	547	2.40
13	0.097	0.048	1.11	0.0	517	2.73
14	0.098	0.045	1.00	0.0	486	2.23
15	0.110	0.048	0.95	0.0	447	2.38
16	0.093	0.054	0.90	0.0	432	2.15
17	0.057	0.057	0.83	0.0	403	2.16
18	0.051	0.063	0.83	0.0	433	1.95
19	0.044	0.061	0.84	0.0	418	2.04
20	0.054	0.063	0.84	0.0	418	2.04
21	0.068	0.087	0.80	0.0	418	2.04
22	0.046	0.092	0.85	0.0	551	1.84
23	0.059	0.082	0.78	0.117	551	1.84
24	0.044	0.066	0.76	0.0	624	1.57

Table 1-A-8 (4)

19681211 Sea Br.=0 Land Br.=0

Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.035	0.035	0.65	0.0	646	1.50
2	0.037	0.063	0.63	0.0	805	1.15
3	0.030	0.049	0.69	0.0	772	1.21
4	0.023	0.040	0.71	0.0	678	1.41
5	0.032	0.037	0.67	0.0	669	1.44
6	0.026	0.038	0.57	0.0	594	1.25
7	0.038	0.044	0.55	0.0	473	1.16
8	0.059	0.058	0.73	0.0	436	1.41
9	0.054	0.066	1.02	0.0	468	2.07
10	0.031	0.061	1.15	0.0	526	2.67
11	0.028	0.050	1.02	0.0	551	2.44
12	0.028	0.048	1.06	0.0	783	2.00
13	0.027	0.037	1.12	0.0	774	2.03
14	0.027	0.031	1.12	0.0	701	2.22
15	0.029	0.031	1.05	0.0	627	2.23
16	0.032	0.035	0.93	0.0	567	2.11
17	0.045	0.040	0.86	0.0	538	1.90
18	0.046	0.045	0.86	0.0	538	1.90
19	0.061	0.046	0.83	0.0	546	1.87
20	0.058	0.048	0.82	0.0	566	1.78
21	0.062	0.043	0.83	0.0	572	1.76
22	0.056	0.041	0.84	0.0	559	1.81
23	0.058	0.041	0.87	0.0	558	1.81
24	0.060	0.039	0.89	0.0	522	1.98

19681212 Sea Br.=20 Land Br.=0

1	0.047	0.038	0.94	0.0	491	2.15
2	0.044	0.037	0.99	0.0	488	2.17
3	0.036	0.035	0.97	0.0	457	2.37
4	0.035	0.037	0.96	0.1175	488	2.17
5	0.032	0.034	1.03	0.3525	479	2.22
6	0.033	0.028	1.15	0.3525	404	2.50
7	0.033	0.029	1.15	0.1175	343	3.15
8	0.039	0.041	1.13	0.1175	348	2.92
9	0.042	0.050	1.24	0.3525	403	2.97
10	0.060	0.044	1.23	0.5875	358	3.16
11	0.048	0.043	1.34	0.5875	397	3.20
12	0.044	0.036	1.35	0.3525	365	3.46
13	0.042	0.040	1.37	1.5275	365	3.49
14	0.038	0.024	1.26	2.2325	361	3.54
15	0.039	0.019	1.19	1.5275	379	2.95
16	0.040	0.023	1.11	1.0575	379	3.07
17	0.048	0.027	1.02	0.5875	433	2.56
18	0.050	0.031	0.83	1.5275	465	2.32
19	0.042	0.021	0.78	0.5875	623	1.57
20	0.066	0.025	0.90	0.1175	483	1.67
21	0.063	0.037	1.09	0.3525	368	2.48
22	0.047	0.036	1.19	0.1175	318	3.13
23	0.045	0.044	1.26	0.0	361	3.35
24	0.053	0.042	1.23	0.0	378	3.13

Table 1-A-8 (5)

19681213 Sea Br.=0 Land Br.=0

Time	Conc.	Est C.	T	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.042	0.042	1.27	0.0	359	3.38
2	0.036	0.038	1.08	0.0	314	3.21
3	0.034	0.045	1.04	0.0	416	2.72
4	0.034	0.041	1.10	0.0	462	2.34
5	0.032	0.036	1.22	0.0	408	2.80
6	0.036	0.035	1.37	0.0	382	3.19
7	0.033	0.034	1.42	0.0	334	3.74
8	0.045	0.040	1.47	0.0	333	3.84
9	0.042	0.046	1.65	0.0	456	3.98
10	0.039	0.038	1.63	0.0	530	3.79
11	0.029	0.033	1.60	0.0	492	3.41
12	0.034	0.034	1.55	0.0	455	3.88
13	0.034	0.036	1.54	0.0	488	3.41
14	0.028	0.033	1.41	0.0	452	3.64
15	0.039	0.037	1.29	0.0	439	2.99
16	0.052	0.041	1.39	0.0	403	3.17
17	0.032	0.041	1.27	0.0	340	3.70
18	0.032	0.049	1.12	0.0	389	2.99
19	0.041	0.049	0.98	0.0	425	2.63
20	0.039	0.053	0.78	0.0	502	2.09
21	0.036	0.050	0.69	0.0	664	1.45
22	0.035	0.045	0.67	0.0	705	1.35
23	0.025	0.043	0.71	0.0	725	1.30
24	0.038	0.039	0.66	0.0	533	1.46

19681214 Sea Br.=21 Land Br.=0

1	0.036	0.038	0.62	0.0	743	1.26
2	0.026	0.041	0.77	0.0	819	1.13
3	0.026	0.033	0.83	0.0	574	1.75
4	0.039	0.034	0.81	0.0	561	1.80
5	0.029	0.036	0.83	0.0	582	1.72
6	0.038	0.036	0.76	0.0	520	1.82
7	0.047	0.041	0.66	0.0	428	1.57
8	0.063	0.056	0.68	0.0	420	1.60
9	0.062	0.068	0.77	0.0	411	1.71
10	0.075	0.079	0.87	0.0	392	2.05
11	0.082	0.080	1.03	0.0	434	2.32
12	0.081	0.067	1.06	0.0	469	2.60
13	0.067	0.057	0.97	0.0	489	2.32
14	0.064	0.054	0.90	0.0	491	2.12
15	0.068	0.055	0.85	0.0	505	1.98
16	0.052	0.056	0.86	0.1175	537	1.84
17	0.064	0.048	0.89	0.1175	528	1.95
18	0.057	0.044	0.85	0.1175	518	2.00
19	0.045	0.044	0.71	0.3525	563	1.79
20	0.039	0.040	0.74	1.0575	131	1.29
21	0.040	0.018	0.65	0.8225	503	1.58
22	0.047	0.025	0.69	0.5875	560	1.37
23	0.041	0.027	0.62	0.3525	488	1.64
24	0.040	0.035	0.57	0.3525	627	1.19

Table 1-A-8 (6)

19681216 Sea Br.=0 Land Br.=0

Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.029	0.029	1.19	0.0	301	3.44
2	0.024	0.042	1.16	0.0	377	3.14
3	0.023	0.039	0.96	0.0	345	2.74
4	0.024	0.046	1.01	0.0	469	2.29
5	0.028	0.040	1.02	0.0	455	2.39
6	0.033	0.038	1.06	0.0	459	2.42
7	0.027	0.037	0.93	0.0	370	2.53
8	0.047	0.050	0.78	0.0	383	2.21
9	0.063	0.065	0.82	0.0	425	1.70
10	0.060	0.073	1.12	0.0	537	2.26
11	0.054	0.055	1.31	0.0	571	2.68
12	0.044	0.041	1.51	0.0	568	2.96
13	0.041	0.032	1.77	0.0	561	3.56
14	0.043	0.026	1.86	0.0	501	4.08
15	0.040	0.026	1.77	0.0	414	4.32
16	0.034	0.032	1.69	0.0	372	4.34
17	0.027	0.036	1.66	0.0	312	4.26
18	0.034	0.042	1.66	0.0	251	4.84
19	0.042	0.050	1.62	0.0	246	5.07
20	0.035	0.056	1.50	0.0	256	4.66
21	0.032	0.050	1.46	0.0	270	4.19
22	0.048	0.047	1.40	0.0	269	4.25
23	0.042	0.051	1.31	0.1175	281	3.89
24	0.039	0.047	1.28	0.0	294	3.58

19681217 Sea Br.=0 Land Br.=0

1	0.034	0.034	0.98	0.0	336	2.86
2	0.035	0.050	1.05	0.0	457	2.37
3	0.037	0.040	1.14	0.0	358	2.58
4	0.046	0.040	1.16	0.0	307	3.32
5	0.031	0.045	1.14	0.0	385	3.05
6	0.038	0.041	0.96	0.0	417	2.70
7	0.042	0.043	0.69	0.0	387	1.97
8	0.069	0.059	0.60	0.0	421	1.52
9	0.084	0.074	0.85	0.0	432	1.39
10	0.094	0.074	1.23	0.0	502	2.71
11	0.068	0.053	1.38	0.0	537	2.88
12	0.051	0.040	1.45	0.0	469	3.18
13	0.048	0.038	1.69	0.0	482	3.57
14	0.054	0.032	1.80	0.0	429	4.18
15	0.059	0.032	1.69	0.0	372	4.48
16	0.055	0.037	1.33	0.0	325	4.12
17	0.062	0.049	0.99	0.0	323	3.06
18	0.054	0.062	0.77	0.0	390	2.27
19	0.053	0.067	0.68	0.0	496	1.61
20	0.058	0.068	0.63	0.0	530	1.47
21	0.072	0.062	0.62	0.0	577	1.32
22	0.060	0.057	0.65	0.0	565	1.35
23	0.070	0.055	0.74	0.0	539	1.44
24	0.069	0.050	0.78	0.0	450	1.84

Table 1-A-8 (7)

19681218 Sea Br.=4 Land Br.=8

Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.065	0.065	0.735	0.0	591	1.68
2	0.056	0.045	0.706	0.0	677	1.42
3	0.056	0.040	0.639	0.0	684	1.40
4	0.049	0.039	0.581	0.0	646	1.14
5	0.042	0.058	0.574	0.0	611	1.22
6	0.047	0.070	0.576	0.0	643	1.17
7	0.046	0.076	0.542	0.0	473	1.18
8	0.081	0.092	0.564	0.0	453	1.32
9	0.117	0.117	0.524	0.0	449	1.33
10	0.135	0.135	0.488	0.0	516	1.13
11	0.142	0.139	0.505	0.0	655	1.03
12	0.116	0.124	0.822	0.0	939	1.01
13	0.089	0.073	0.914	0.0	669	1.88
14	0.066	0.054	0.963	0.0	642	1.79
15	0.058	0.045	0.950	0.0	581	2.14
16	0.052	0.045	0.859	0.0	571	1.90
17	0.072	0.046	0.896	0.0	567	1.77
18	0.071	0.045	0.920	0.0	505	2.07
19	0.066	0.046	0.858	0.0	506	2.06
20	0.062	0.050	0.928	0.0	563	1.79
21	0.057	0.041	0.911	0.1175	483	2.20
22	0.049	0.038	0.918	0.1175	524	1.97
23	0.049	0.037	1.012	0.3525	500	2.10
24	0.042	0.029	1.044	0.1175	444	2.47

19681219 Sea Br.=0 Land Br.=0

1	0.031	0.031	1.103	0.1175	393	2.95
2	0.032	0.035	1.291	0.1175	437	2.53
3	0.038	0.029	1.476	0.1175	344	3.62
4	0.035	0.030	1.513	0.1175	318	4.12
5	0.031	0.032	1.340	0.3525	321	4.06
6	0.029	0.032	1.211	1.0575	379	3.16
7	0.034	0.022	1.109	0.3525	348	2.95
8	0.043	0.036	1.068	0.1175	351	2.84
9	0.050	0.050	0.981	0.1175	379	2.71
10	0.049	0.061	0.712	0.0	323	2.23
11	0.049	0.092	0.599	0.0	375	1.60
12	0.060	0.104	0.778	0.0	550	1.44
13	0.052	0.081	1.062	0.0	487	1.94
14	0.043	0.059	1.266	0.0	464	2.91
15	0.047	0.047	1.190	0.0	439	2.98
16	0.049	0.047	1.042	0.0	436	2.68
17	0.042	0.049	0.974	0.0	469	2.29
18	0.057	0.049	0.956	0.0	479	2.22
19	0.044	0.048	0.867	0.0	488	2.17
20	0.045	0.052	0.752	0.0	460	1.78
21	0.047	0.053	0.642	0.0	581	1.72
22	0.046	0.051	0.549	0.0	699	1.03
23	0.056	0.051	0.620	0.0	817	1.13
24	0.052	0.044	0.570	0.0	634	1.17

Table 1-A-8 (8)

19681220 Sea Br.=12 Land Br.=18

Time	Conc.	Est.C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.043	0.043	0.57	0.0	645	1.63
2	0.033	0.047	0.55	0.0	634	1.17
3	0.038	0.047	0.60	0.0	675	1.09
4	0.040	0.045	0.59	0.0	576	1.33
5	0.042	0.047	0.55	0.0	626	1.19
6	0.045	0.048	0.56	0.0	566	1.08
7	0.048	0.052	0.57	0.0	435	1.33
8	0.061	0.063	0.56	0.0	427	1.43
9	0.085	0.079	0.48	0.0	391	1.27
10	0.085	0.105	0.65	0.0	553	1.13
11	0.070	0.092	0.68	0.0	595	1.70
12	0.045	0.079	0.53	0.0	385	1.17
13	0.085	0.129	0.73	0.0	367	1.49
14	0.087	0.139	0.96	0.0	373	2.26
15	0.103	0.111	0.81	0.0	360	2.64
16	0.086	0.096	0.64	0.0	470	1.58
17	0.077	0.086	0.68	0.0	675	1.43
18	0.060	0.067	0.75	0.0	717	1.32
19	0.100	0.103	0.81	0.0	611	1.62
20	0.084	0.089	0.69	0.0	566	1.78
21	0.070	0.058	0.60	0.0	619	1.21
22	0.079	0.049	0.74	0.0	723	1.31
23	0.075	0.042	0.89	0.0	614	1.61
24	0.067	0.037	0.87	0.0	406	2.13

19681221 Sea Br.= 8 Land Br.= 0

1	0.052	0.040	0.79	0.0	610	1.62
2	0.058	0.040	0.79	0.0	585	1.71
3	0.066	0.038	0.71	0.0	607	1.63
4	0.062	0.038	0.71	0.0	697	1.37
5	0.066	0.037	0.67	0.118	668	1.44
6	0.077	0.034	0.69	0.118	531	1.26
7	0.077	0.039	0.60	0.353	396	1.78
8	0.083	0.048	0.46	0.118	447	1.23
9	0.111	0.079	0.33	0.0	339	0.96
10	0.143	0.133	0.46	0.0	434	0.79
11	0.138	0.139	0.90	0.0	518	1.40
12	0.108	0.095	1.36	0.0	593	2.62
13	0.074	0.052	1.44	0.0	474	3.14
14	0.064	0.040	1.37	0.0	430	3.49
15	0.085	0.042	1.57	0.0	398	3.09
16	0.066	0.040	2.18	0.0	310	4.70
17	0.081	0.035	1.55	0.0	212	7.21
18	0.046	0.062	1.02	0.0	422	2.66
19	0.035	0.055	1.03	0.0	475	2.25
20	0.040	0.050	1.05	0.0	440	2.51
21	0.041	0.043	0.98	0.0	437	2153
22	0.038	0.043	0.92	0.0	490	2.15
23	0.039	0.044	0.89	0.0	515	2.02
24	0.035	0.042	0.88	0.0	528	1.96

Table 1-A-8 (9)

19681224 Sea Br.=10 Land Br.= 0

Time	Conc.	Est C.	Γ	Rain Re.	Height	W.V.
1	0.055	0.055	0.74	0.118	757	1.24
2	0.050	0.034	0.79	0.118	622	1.58
3	0.053	0.032	0.69	0.118	587	1.70
4	0.049	0.034	0.64	0.118	752	1.25
5	0.046	0.032	0.66	0.118	768	1.22
6	0.053	0.030	0.56	0.118	518	1.29
7	0.058	0.041	0.60	0.118	451	1.20
8	0.075	0.052	0.65	0.118	405	1.64
9	0.090	0.065	0.56	0.118	314	1.57
10	0.145	0.092	0.83	0.353	308	1.35
11	0.113	0.091	1.65	0.0	460	3.23
12	0.067	0.050	1.93	0.0	430	4.47
13	0.023	0.034	1.94	0.0	384	4.85
14	0.028	0.034	1.80	0.0	350	4.91
15	0.047	0.038	1.51	0.0	323	4.45
16	0.061	0.048	1.09	0.0	314	3.67
17	0.051	0.061	0.85	0.0	476	2.25
18	0.055	0.058	0.73	0.0	590	1.69
19	0.047	0.054	0.63	0.0	677	1.42
20	0.044	0.054	0.59	0.0	831	1.11
21	0.047	0.046	0.68	0.0	840	1.09
22	0.051	0.039	0.60	0.0	544	1.43
23	0.033	0.049	0.69	0.0	781	1.19
24	0.038	0.041	0.71	0.0	671	1.44

19681225 Sea Br.=14 Land Br.=22

1	0.043	0.043	0.60	0.0	769	1.22
2	0.042	0.041	0.72	0.0	854	1.07
3	0.046	0.034	0.68	0.0	630	1.56
4	0.042	0.037	0.64	0.0	754	1.24
5	0.038	0.036	0.67	0.0	776	1.21
6	0.042	0.035	0.68	0.0	556	1.36
7	0.051	0.041	0.64	0.0	414	1.58
8	0.062	0.058	0.67	0.0	419	1.54
9	0.097	0.071	0.67	0.0	454	1.70
10	0.098	0.081	0.61	0.0	577	1.46
11	0.091	0.080	0.64	0.0	679	1.14
12	0.078	0.071	0.75	0.0	603	1.43
13	0.077	0.077	0.95	0.0	608	1.70
14	0.071	0.091	1.16	0.0	553	2.29
15	0.078	0.071	1.09	0.0	476	2.75
16	0.081	0.055	0.90	0.0	443	2.28
17	0.059	0.057	0.77	0.0	425	2.00
18	0.066	0.063	0.64	0.0	467	1.75
19	0.063	0.067	0.61	0.0	600	1.25
20	0.055	0.065	0.63	0.0	571	1.33
21	0.052	0.058	0.62	0.0	558	1.38
22	0.055	0.056	0.64	0.0	580	1.31
23	0.067	0.076	0.67	0.0	669	1.44
24	0.060	0.079	0.65	0.0	750	1.25

第Ⅱ編の付録

雨水の PH 値計算例	275
Fig. 2-A-1 排出源制御地域区分	276
Table 2-A-1 推定された K_M , 観測値風速・気温プロファイル	277
Table 2-A-2 多重汚染源の都市域拡散モデル	278
Table 2-A-3 大阪地方の汚染物質排出源に関するデータ	284
Table 2-A-4 パスキルの各安定度に対して求めた C_T	291
Table 2-A-5 大阪センター局の汚染濃度推定のためのデータ	294
計算機プログラム	
○ C_T を求めるためのプログラムと記号説明	307
○ パラメーター α と β を推定するためのプログラムと記号説明	314
○ 大阪センター局の時間ごとの汚染濃度推定のためのプログラム と記号説明	317
○ 地区ごとの排出源制御の計算プログラムと記号説明	323

雨水の pH 値計算例：

SO₂ ガスが 300m の気柱に 0.2ppm なる濃度で含まれているものと仮定する。

1 時間に降雨によってその濃度が 0.1ppm になるとき、次式から雨量は

$$\frac{dC}{dt} = -0.47wC \quad w = 1.47 \text{ mm/hr}$$

この雨中に溶解した SO₂ ガスのモル濃度を概算すると、

$$\text{気柱から除かれた SO}_2 \text{ の絶対量} = 1.34 \times 10^{-7} \text{ mol}$$

$$1 \text{ l の雨水中には } 1.34 \times 10^{-7} / 1.47 / 10^{-1} \times 10^3 = 0.912 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$$



$$K_A = \frac{[H^+][HSO_3^-]}{[H_2SO_3]} \quad K_B = \frac{[H^+][SO_3^{2-}]}{[HSO_3^-]} \quad K_W = [C_{OH^-}][C_{H^+}] = 10^{-14}$$

$$\therefore C_{H^+} + C_{H_2SO_3} = C_{SO_3^{2-}} + C_{OH^-}$$

$$\therefore C_{H^+}^2 (1 + C_{HSO_3^-} / K_A) = K_B C_{HSO_3^-} + K_W$$

この式に 0.912 × 10⁻³ mol/l の SO₂ の大部分が HSO₃⁻ であるとして
C_{HSO₃⁻} = 0.912 × 10⁻³ と、K_A = 10^{-1.78}、K_B = 10^{-6.99} を用いて

$$C_{H^+} = \frac{K_A [K_B C_{HSO_3^-} + K_W]}{K_A + C_{HSO_3^-}} = 10^{-5} \frac{0.93 + 0.166 \times 10^{-5}}{0.0175} = 7.3 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log C_{H^+} = -\log 7.3 + 5 = 4.14$$

H₂SO₄ では K = 1.912, C_{H⁺} + C_{H₂SO₄} = C_{SO₄²⁻} + C_{OH⁻}, K_A = 10^{-1.912}

$$C_{H^+} + \frac{C_{H^+}^2 C_{SO_4^{2-}}}{K_A} = C_{SO_4^{2-}} + 10^{-14} / C_{H^+} \therefore C_{H^+} = 0.1035 \quad \text{pH} \doteq 1$$

第 1 編引用文献 (45) によると、雨水の pH は 3.7—4.5 でかなり汚染されていることが確認されている。しかし硫酸として溶解している割合はまだ明らかでない。

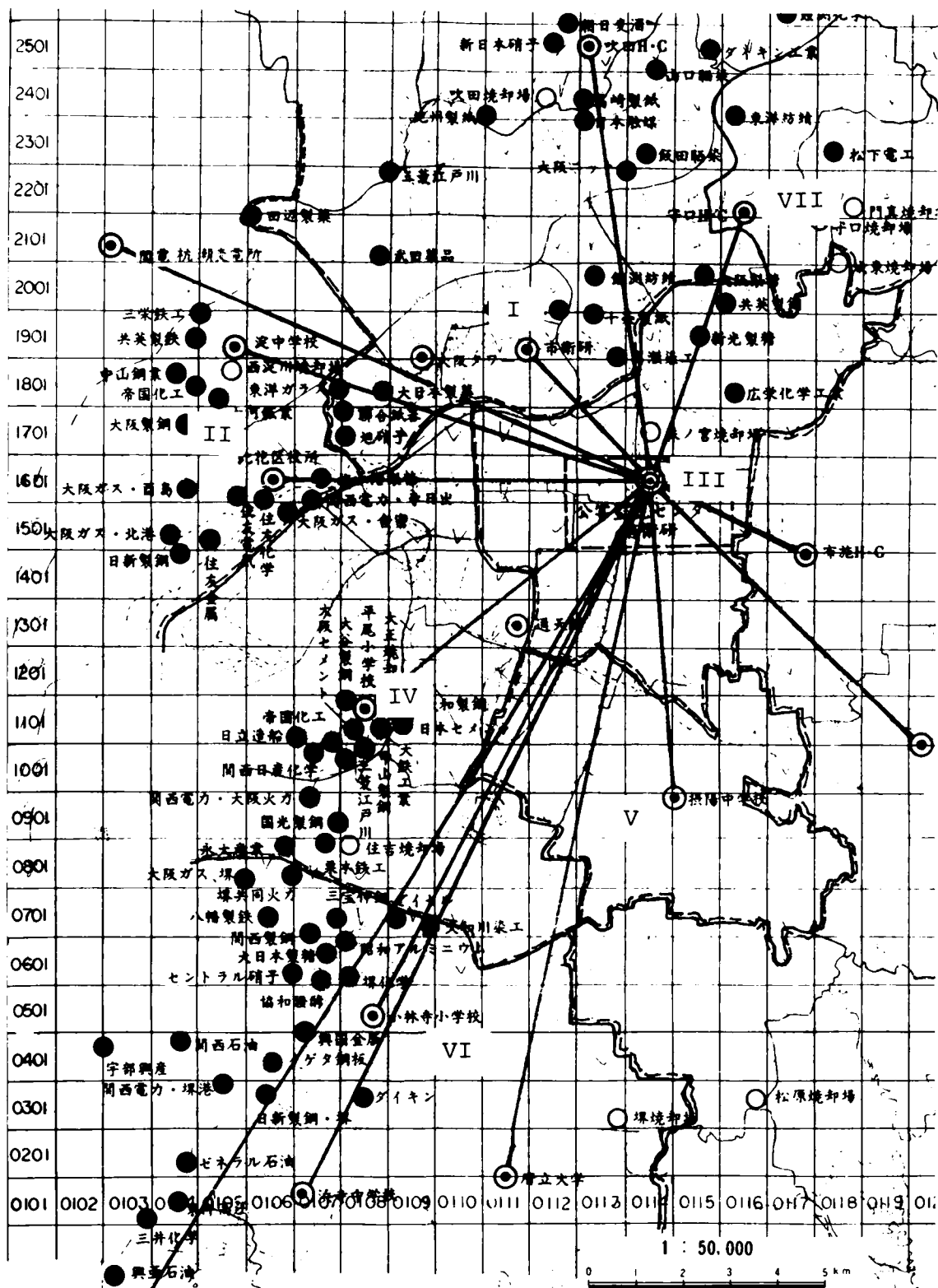


Fig.2-A-1 Emission Control Region

Table 2-A-1 Estimated K_M , Observed Wind Speed and Temperature Profile

Date	Height (m)	Temp. (°K)	K_M (m ² /sec)	du/dz (10 ⁻² /sec)	dT/dz (°K/m)	Ri.	K_M $\frac{K_M}{z^2 du/dz}$
Mar. 29 '67	50	283.9	3.47	1.16	-0.0286	-4.84	0.120
Mar. 2 '67	25	286.2	1.07	1.09	-0.0340	-4.46	0.0658
Mar. 29 '67	50	285.0	2.07	1.50	-0.0351	-3.82	0.0552
Mar. 27 '67	65	276.7	1.38	0.500	-0.0120	-3.12	0.0653
Feb. 27 '67	65	276.7	1.38	0.509	-0.0120	-3.00	0.0642
Feb. 24 '67	100	277.5	1.30	0.718	-0.0125	-1.85	0.0182
Jan. 30 '67	75	282.0	1.74	2.36	-0.0253	-0.97	0.0132
Feb. 22 '67	80	287.1	7.51	2.81	-0.0207	-0.480	0.0396
Feb. 24 '67	60	283.0	0.629	0.777	-0.0175	-0.449	0.0225
Jan. 14 '67	50	280.4	2.13	4.90	-0.0230	-0.192	0.0174
Feb. 22 '67	50	288.7	2.39	6.80	-0.0278	-0.132	0.0134
Jan. 20 '67	125	275.7	1.11	5.44	-0.0057	0.0492	0.0013
Jan. 20 '67	75	275.7	1.92	5.20	-0.0040	0.0751	0.0066
Jan. 20 '67	75	275.4	5.54	5.08	-0.0040	0.0802	0.0194
Jan. 17 '67	100	271.6	1.24	2.42	0.0075	0.107	0.0052
Jan. 27 '67	50	285.8	1.43	3.98	-0.0043	0.120	0.0144
Feb. 1 '67	100	276.2	4.15	3.82	-0.0033	0.158	0.0109
Feb. 6 '67	100	283.4	4.01	1.88	-0.0075	0.225	0.0213
Feb. 2 '67	100	275.3	3.04	5.27	0.0106	0.261	0.0058
Feb. 4 '67	50	275.3	- .408	3.38	0.0000	0.305	0.0048
Feb. 4 '67	100	273.6	3.26	2.65	-0.0026	0.367	0.0126
Feb. 1 '67	100	275.2	3.65	3.40	0.0026	0.381	0.0108
Jan. 12 '67	100	277.3	0.37	1.70	-0.0035	0.771	0.0022
Jan. 20 '67	55	275.3	1.03	2.11	0.0000	0.782	0.0162
Jan. 22 '67	100	278.7	0.692	0.846	-0.0062	1.76	0.0082
Jan. 12 '67	100	276.4	2.40	1.43	0.0170	4.65	0.0168
Jan. 13 '67	150	380.0	1.50	0.663	-0.0033	5.16	0.0010

Table 2-A-2 Multiple-source Urban Diffusion Models

1. Turnerによるモデル (1964) (13)

1) 対象都市：ナッシュビル市

2) a) 煙源：各 1 mile^2 ごとに横方向の広がり 402m を持つ煙源を仮定し、排出高度は 20m とする。

b) 安定度：Turner による方法を使う。混合層高度を考えない。

c) 風：地上 10m での 16 方位、 0.1m/sec までの風で 2 時間にわたって変動しないものとして 2 時間ごとに利用する。

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール： SO_2 ，2 時間平均値を求める。

4) 数式モデル：東西に r 軸，南北に s 軸をとり， x, y をメートル， r, s をマイルとすると，

$$x = 1609.347(s \sin \theta + r \cos \theta)$$

$$y = 1609.347(s \cos \theta - r \sin \theta)$$

(r, s) 点の相対濃度は

$$\frac{C(r, s)}{Q} = \frac{1}{u(\sigma_y^2 + 402)\sigma_z} \exp\left\{-\frac{0.693t}{L_t} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y^2 + 402}\right)^2 - \frac{200}{\sigma_z^2}\right\}$$

t は時間， Q は排出強度， u は風速， σ_i 煙の i 軸方向の広がり， L_t は亜硫酸ガスの半減期で 4hr ，

5) その他：都市を辺長が 1mile の格子区割に分け，東より逆時計まわりに 4θ をとる。

2. Ottらによるモデル (1967) (18)

1) 対象都市：ワシントン D.C.

a) 煙源：自動車排ガスで排出源高さは地表面とする。計算点のまわりを 1km ， 4km ， 10km ，の同心円で区分し，中心より 8 方向に等放射区分し，各区分された扇形面を 1 つの面源

とする。

b) 安定度 : Pooler がナッシュビルで得た σ_z の決定法による。

c) 風 : 年間の種々の方向に対する風向の発生頻度をワシントン
空港の時間ごとの観測データから求める。

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : CO 年間平均値

4) 数式モデル : r_i を計算地点から i 番目の同心円区分の距離

$$\frac{C}{Q_A} = \frac{9.2}{u^{0.55}} \{ (r_{i+1}^{+100})^{0.25} - (r_i^{+100})^{0.25} \}$$

3. Ulbrich によるモデル (1967) (16)

1) 対象都市 : コサンゼルス市

2) a) 煙源 : 市域を7つの面源に区分して使用する。

b) 安定度 : 逆転層の底の高さを唯一の尺度とする。

c) 風 : 7つの面源に分けたその境界での風向, 風速データを使用
する。

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : 自動車排ガスによる汚染の1時間値
の適応予測をする

4) 数式モデル : 市域を7つの完全混合槽に分ける。その槽の高さを逆転層
の底の高さとして、その槽間は断面に垂直方向の大気流量で結合す
る集中定数系モデルである。

4. Hilst によるモデル (1968) (62)

1) 対象都市 : コネチカット州

2) a) 煙源 : 格子状の面源に分ける。

b) 安定度 : 煙の拡散パラメーター σ_y, σ_z を図表から求める。

c) 風 : 不明

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : SO_2 ,

4) 数式モデル : 流跡を追う拡散モデル

$$C_{ij} \left(\frac{A_{kl}}{A_{ij}} \right) = \frac{Q(A_{ij})}{2\pi u(A_{ij}) \sigma_z(l) \sigma_y(l)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{l^2}{\sigma_y^2(l)} + \frac{H^2}{\sigma_z^2(l)} \right\} \right]$$

$C_{ij}(A_{kl}/A_{ij})$ は A_{ij} 点の排出源による A_{kl} 点での濃度, $Q(A_{ij})$ は A_{ij} 点の排出強度, $u(A_{ij})$ は A_{ij} 点での平均風速, H は A_{ij} 点の汚染物質排出高度, l は A_{ij} から A_{kl} への移動距離, $\sigma_y(l)$ と $\sigma_z(l)$ は l の間の煙の拡がりの標準偏差

5) その他 : 流れ関数の多項式明示と流跡の計算を行ない, 移動距離 l を求めることを予定.

5. Martin と Tikvert によるモデル (1968) (75)

1) 対象都市 : セントルイス

2) a) 煙源 : 点放出源を扱う.

b) 安定度 : Pasquill の分類を使う. 混合層の高度をも考慮する.

c) 風 : 月および季節単位の風配

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : SO_2 , 月および季節単位の平均値, 点の濃度を求める.

4) 数式モデル :

$$\sigma_z < 0.47D_m \longrightarrow C = \frac{2.03 \times \text{Freq} \times Q \times (CX - Y) / CX}{u \sigma_z x} \exp \left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right)$$

$$\sigma_z \geq 0.47D_m \longrightarrow C = \frac{2.55 \times \text{Freq} \times Q \times (CX - Y) / CX}{u x D_m}$$

Freq は月および季節単位による風配の風向頻度率, Y は濃度計算点から点源とそれを通る風向放射区分の中心線間の距離, CX は放射区分線間の距離, x は煙源と濃度計算点間の距離, D_m は混合層の高さである.

5) その他 : 拡散式は正規分布の拡散公式に角 $\pi/8$ の放射区分の風向方位デ

ータを採用するため、式を簡単化している。

6. Johnson, Ludwig, Moon によるモデル(1969)(76)

- 1) 対象都市 : —
- 2) a) 煙源 : 排出高度を0とする面源, 扇形区割をする。
 b) 安定度 : Turnerの作った基準により, Gifford-Pasquill(77)の σ_z 関数を使う。混合層の高さはSummerのモデルとLudwigの経験式を利用する。
 c) 風 : 風向, 風速は1時間値を利用
- 3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : CO, 1時間ごとの値
- 4) 数式モデル : 混合する大気層が限定され, 十分滞留時間が長くなるときにガウス分布からボックスモデルとなる。

$$\left(\frac{C}{Q_A}\right)_{ij} = \frac{0.8}{ua_{ij}(1-b_{ij})} (r_{i+1}^{1-b_{ij}} - r_i^{1-b_{ij}}) \quad b_{ij} \neq 1 \quad (1)$$

$$\left(\frac{C}{Q_A}\right)_{ij} = \frac{0.8}{ua_{ij}} \ln\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right) \quad b_{ij} = 1$$

ボックスモデル

$$\left(\frac{C}{Q_A}\right)_i = \frac{r_{i+1} - r_i}{uDm} \quad (2)$$

式(1)から式(2)へモデルを移すときの r_T の距離は

$$r_T = (0.8Dm/a_{ij})^{1/b_{ij}}$$

ここで Q_A は単位面積当りの一酸化炭素排出強度, r は汚染物質の移動距離, 添字 i は濃度計算点から風上に数えた同様に円で分割された面源の番号, 添字 j は安定度クラスを表わす, $\sigma_z = a_{ij} r^{b_{ij}}$ である。

r_i は i と $i+1$ の扇形区割の境界線と計算点との距離である。

7. Robertsらによるモデル (1969) (14)

1) 対象都市：シカゴ市

2) a) 煙源：点源と面源に分け，有効煙突高度を点源のとき $kQ_S^{0.5}/u$
面源のとき 商業工業地域では 90m，住宅地域では 30m と
する。1時間単位の排出強度を使用する。

b) 安定度：Pasquillと同様な σ_z の図を利用する。安定度を5つ
に分類している。

c) 風：風向，風速は1時間値を利用する。

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール： SO_2 ，面的な1時間ごとの分布

4) 数式モデル：パフモデル

$$C(x', y', z', t) = \frac{Q(x', y', z', t)}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(t) \sigma_y(t) \sigma_z(t)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x-ut-x'}{\sigma_x(t)} \right\}^2 \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \left\{ \frac{y-vt-y'}{\sigma_y(t)} \right\}^2 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{z-wt-z'}{\sigma_z(t)} \right\}^2 \right]$$

ここで $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_n$ および σ_z は図表から決定する。 u, v, w は風速。

3時間前まで逆のばってパフを計算する。 k は不安定クラス3で

0.87，中立クラス4で0.354，安定クラス5で0.22， ρ は不安
定クラス3で0.2，中立クラス4で0.2，安定クラスで0.5。

(x', y', z') は汚染物質放出位置， (x, y, z) は濃度計算点。

は固体燃料による点源の単位時間当りの放出熱量 (cal/sec) である。

5) その他：汚染源の中で暖房によるものはその排出強度を石炭と石油に分
けて気温の関数として表わしている。

また有効煙突高度が混合層高度と比較して小さいときその層内の安定
度で濃度を計算し，そうでないときは $Dm \rightarrow \infty$ として安定な大気条件
で濃度を計算する。

8. Davidson らによるモデル, (1969) (15)

1) 対象都市 : ニューヨーク市

2) a) 煙源 : 点源と面源に分け, 1時間単位の排出強度を使用する。

1日当りの総 Q_d 排出量を度日指数と, 年間の総排出量の関数として求めている。有効煙突高度は

$$\Delta H = 0.047 \frac{Q_d^{0.58}}{\bar{u}^{0.7}}$$

b) 安定度 : $\sigma_x = \sigma_{0x} + \bar{u} \times (t - \bar{t})^p$, $\sigma_y = \sigma_{0y} + \bar{u} \times (t - \bar{t})^p$,
 $\sigma_z = \sigma_{0x} + \bar{u} \times (t - \bar{t})^p$, $p=1.0$ として $\sigma_{0x}, \sigma_{0y}, \sigma_{0z}$ をパラメーター推定から得る。 $\sigma_z > Dm/2 \rightarrow \sigma_z = Dm/2$

c) 風 : 風向, 風速の時間値

3) 対象とする汚染物質と汚染スケール : SO_2

4) 数式モデル : プフモデルである。

Table 2-A-3 Emission Source Data
Source No. Diurnal Variation of Emission Intensity of Point Sources
(Heavy Oil 1/hr)

1	810.	820.	830.	820.	1200.	1140.	1000.	1890.	1780.	1750.	1670.	1520.
	1510.	2070.	2110.	1940.	1590.	900.	1110.	950.	860.	1030.	860.	770.
2	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.
	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.	4117.
3	580.	575.	575.	565.	565.	580.	680.	1030.	1040.	950.	950.	940.
	980.	980.	980.	990.	900.	910.	550.	720.	700.	730.	720.	680.
4	300.	400.	400.	300.	300.	1000.	1250.	1050.	1250.	1250.	1150.	1150.
	550.	1300.	1300.	1150.	1100.	1050.	800.	800.	650.	600.	400.	400.
5	.	0.	0.	0.	0.	250.	250.	1250.	1600.	1500.	1500.	1400.
	1000.	1500.	1500.	1400.	1300.	800.	800.	700.	500.	300.	0.	0.
6	.	0.	0.	0.	140.	350.	910.	930.	950.	950.	920.	920.
	579.	1060.	710.	590.	300.	463.	184.	0.	0.	0.	0.	0.
7	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1770.	1770.	1770.	1770.
	1770.	1770.	1770.	1770.	1770.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.	1740.
8	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.
	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.	1105.
9	1200.	1200.	1200.	1200.	1400.	2750.	2750.	2350.	1900.	3400.	3400.	2350.
	3600.	2750.	2750.	2750.	2750.	1900.	2750.	2300.	200.	1200.	1200.	1200.
10	.	0.	0.	0.	200.	600.	1050.	1170.	1230.	1230.	1220.	1220.
	1220.	1030.	1230.	1180.	1000.	1000.	1000.	900.	900.	400.	0.	0.
11	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.	1500.	1500.	1500.	1500.	1500.
	1500.	1500.	1500.	1500.	1500.	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.	1250.
12	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.
	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.
13	1020.	1040.	1060.	1060.	1010.	1060.	1060.	1010.	1110.	1150.	1200.	1210.
	1110.	1060.	1130.	1090.	1080.	990.	1040.	1060.	1080.	1070.	1010.	1000.
14	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3480.	3480.	3480.	3200.
	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.	3200.
15	170.	300.	300.	300.	300.	300.	800.	2250.	3150.	3150.	3150.	3150.
	1620.	3150.	3150.	3150.	3150.	3150.	2350.	1100.	350.	350.	300.	300.
16	1415.	1535.	1525.	1495.	1505.	1495.	1485.	1595.	1595.	1575.	1655.	1645.
	1615.	1615.	1555.	1615.	1635.	1625.	1515.	1475.	1575.	1615.	1495.	1555.
17	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.
	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.	2115.
18	900.	1000.	1200.	1200.	1500.	1700.	1800.	2000.	2200.	2100.	2000.	1500.
	2200.	2200.	2200.	2000.	1700.	1800.	1900.	1800.	1500.	1200.	1100.	800.

39	2620.	2620.	2620.	2620.	815.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.
40	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.	2620.
41	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.
42	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.	8440.
43	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.
44	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.	10820.
45	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.
46	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.	8280.
47	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.
48	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.	16240.
49	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50	1520.	1580.	1550.	1430.	1290.	920.	170.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
51	1540.	1540.	1540.	1340.	1240.	1140.	1240.	1540.	1640.	1640.	1640.	1640.	1640.	1640.
52	1640.	1740.	1640.	1640.	1740.	1840.	1440.	1540.	1640.	1640.	1640.	1640.	1640.	1640.
53	600.	500.	500.	500.	500.	500.	1300.	2300.	3600.	3600.	3600.	3600.	3600.	3600.
54	2900.	3200.	2900.	2700.	2300.	2500.	1500.	900.	700.	600.	500.	500.	500.	500.
55	5920.	6040.	5700.	5690.	4990.	5190.	5990.	5860.	6270.	6380.	6280.	5690.	5690.	5690.
56	5780.	6040.	6020.	5720.	5980.	5670.	6420.	5640.	5620.	6580.	5530.	6260.	6260.	6260.
57	7410.	7410.	7410.	7410.	7410.	7410.	8691.	9271.	9271.	9271.	9851.	9851.	9851.	9851.
58	9851.	9851.	9851.	9851.	9851.	9851.	8051.	8051.	8051.	8051.	7471.	7471.	7471.	7471.
59	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.
60	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.	37200.
61	7600.	7600.	7600.	7600.	7600.	7600.	8050.	10050.	10050.	10050.	10050.	10050.	10050.	10050.
62	10100.	10100.	10100.	10100.	10100.	10100.	8650.	8650.	8650.	8650.	7650.	7650.	7650.	7650.
63	11195.	11195.	11195.	11195.	11195.	11195.	11355.	11355.	11355.	11355.	13235.	13235.	13235.	13235.
64	13245.	13245.	13245.	13245.	13245.	13245.	11156.	11156.	11156.	11156.	11156.	11156.	11156.	11156.
65	990.	900.	410.	1020.	970.	910.	890.	910.	940.	910.	890.	410.	410.	410.
66	1150.	900.	990.	1000.	1020.	930.	400.	1050.	990.	1010.	970.	960.	960.	960.
67	610.	940.	648.	994.	1050.	840.	840.	955.	926.	1142.	907.	972.	972.	972.
68	1142.	1030.	1038.	1142.	1240.	734.	734.	706.	1123.	1030.	764.	1192.	1192.	1192.
69	2235.	2375.	1925.	2245.	2315.	1800.	1875.	2340.	2790.	2300.	2170.	2170.	2170.	2170.
70	2362.	2360.	2210.	2880.	2649.	2680.	2355.	2442.	2392.	2595.	2455.	2455.	2455.	2455.
71	4360.	4460.	4460.	4460.	4460.	4460.	3520.	3860.	4460.	4460.	4460.	2860.	2860.	2860.
72	3260.	4100.	4460.	4160.	3600.	2660.	2360.	2560.	3160.	4060.	4360.	2760.	2760.	2760.
73	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.
74	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.	1176.
75	630.	630.	630.	630.	630.	400.	400.	650.	650.	650.	650.	650.	650.	650.
76	650.	650.	650.	650.	650.	400.	380.	630.	630.	630.	630.	630.	630.	630.
77	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.
78	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.	1210.

59	150.	150.	150.	150.	150.	150.	300.	500.	900.	1240.	1300.	1000.
	1200.	1100.	1200.	1000.	900.	500.	500.	200.	200.	150.	150.	150.
60	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.
	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.	1160.
61	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.
	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.	1230.
62	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	2000.	2000.	2000.	2000.	2000.
	2000.	2000.	2000.	2000.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.	1800.
63	1340.	1470.	1530.	1470.	1550.	1620.	2290.	2580.	2790.	2350.	2330.	2200.
	2290.	2270.	2530.	2270.	2300.	2180.	1750.	1470.	1560.	1460.	1480.	1430.
64	1610.	1560.	1540.	1520.	1220.	640.	530.	610.	710.	810.	760.	760.
	680.	760.	640.	690.	560.	460.	830.	1340.	1440.	1480.	1640.	1590.
65	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7445.	7445.	7445.	7445.
	7445.	7445.	7400.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.	7270.
66	2300.	2320.	2180.	2220.	2140.	2100.	2340.	2300.	2260.	2320.	2340.	2120.
	2060.	2320.	2180.	2220.	2240.	2170.	2130.	2240.	2400.	2280.	2480.	2260.

Point

Source No.	Sulphur Content Rate in a Heavy Oil of 66 Point Sources (-)											
1 - 12	0.0267	0.028	0.028	0.030	0.030	0.029	0.0300	0.0325	0.030	0.030	0.026	0.028
13 - 24	0.0295	0.029	0.029	0.025	0.029	0.0300	0.0275	0.0280	0.0314	0.035	0.029	0.035
25 - 36	0.027	0.0200	0.0174	0.028	0.0300	0.0123	0.0230	0.0277	0.035	0.030	0.030	0.022
37 - 48	0.0175	0.023	0.035	0.030	0.022	0.023	0.023	0.028	0.030	0.027	0.034	0.025
49 - 60	0.0144	0.018	0.028	0.023	0.0240	0.02010	0.02350	0.0133	0.0350	0.0266	0.023	0.035
61 - 66	0.030	0.0070	0.0288	0.020	0.027	0.030						

Source No. Stack Heights of 66 Point Sources (meters)

1 - 12	46.	42.	20.	30.	42.	33.	46.	67.	39.	20.	40.	20.
13 - 24	45.	30.	55.	15.	38.	36.	50.	30.	36.	25.	25.	91.
25 - 36	25.	26.	31.	72.	30.	42.	76.	24.	10.	15.	45.	76.
37 - 48	30.	40.	30.	55.	100.	33.	150.	46.	45.	61.	40.	40.
49 - 60	40.	20.	25.	30.	45.	50.	45.	35.	29.	40.	64.	24.
61 - 66	25.	50.	24.	24.	46.	55.						

Source No.	Distances between each 66 Point Source and the Center Station (m)															
1 - 12	9700.	9300.	9000.	6500.	6800.	8500.	4400.	10100.	7300.	4000.	3100.	8300.				
13 - 24	4000.	3700.	2650.	11500.	10500.	10300.	11900.	12100.	13500.	14500.	15100.	17200.				
25 - 36	18000.	7900.	6800.	7200.	7650.	8300.	9700.	9700.	10200.	10800.	11900.	11100.				
37 - 48	12100.	11200.	11750.	12700.	15200.	16500.	15400.	10050.	8500.	7350.	10200.	14950.				
49 - 60	7200.	9400.	8150.	10090.	6900.	8600.	9900.	10100.	10100.	9300.	6000.	6800.				
61 - 66	6500.	6500.	7900.	9200.	8100.	2600.										

Source No.	Directions of 66 Point Sources (16 sectors)															
1 - 24	16	15	16	16	16	15	1	1	1	15	15	15	15	9	9	9
25 - 48	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12
49 - 66	12	12	12	12	12	13	13	12	13	13	12	13	1	10	10	2

Source No.	Diurnal Variation of Emission Intensity of Area Sources (Heavy Oil 1/hr), (Inside: 1, Outside: 2)															
1 - 1	878.	844.	935.	988.	983.	1328.	1976.	2778.	3363.	3488.	3234.	2969.				
	2931.	3146.	3016.	2744.	2326.	1861.	1784.	1497.	1362.	1414.	1162.	959.				
1 - 2	1275.	1250.	1344.	1381.	1377.	1851.	2733.	3109.	4781.	4884.	4341.	4232.				
	3603.	4479.	4268.	3726.	3332.	2676.	2343.	1939.	1692.	1640.	1589.	1383.				
2 - 1	878.	844.	935.	988.	983.	1328.	1976.	2778.	3363.	3488.	3234.	2969.				
	2931.	3146.	3016.	2744.	2326.	1861.	1784.	1497.	1362.	1414.	1162.	959.				
2 - 2	780.	1731.	1896.	1989.	1981.	2627.	3885.	5441.	6565.	6786.	6322.	5755.				
	5684.	6138.	5887.	5327.	4495.	3583.	3506.	2948.	2699.	2786.	2304.	1940.				
3 - 1	587.	111.	622.	662.	664.	871.	1273.	1776.	2137.	2215.	2047.	1883.				
	1857.	2008.	1921.	1746.	1480.	1197.	1152.	969.	886.	913.	762.	638.				
3 - 2	867.	844.	916.	987.	996.	1256.	1788.	2460.	2931.	3041.	2791.	2575.				
	2537.	2775.	2646.	2403.	2033.	2673.	1622.	1137.	1261.	1290.	1100.	941.				
4 - 1	151.	152.	156.	175.	186.	190.	225.	280.	306.	318.	275.	261.				
	254.	309.	287.	258.	215.	204.	209.	181.	175.	168.	167.	160.				
4 - 2	328.	332.	339.	381.	406.	413.	491.	511.	657.	692.	600.	568.				
	554.	674.	625.	561.	469.	445.	455.	395.	381.	367.	364.	349.				
5 - 1	151.	152.	156.	175.	186.	190.	225.	280.	306.	318.	275.	261.				
	254.	309.	287.	258.	215.	204.	209.	181.	175.	168.	167.	160.				
5 - 2	328.	332.	339.	381.	406.	413.	491.	511.	657.	692.	600.	568.				

6 - 1	554.	674.	625.	561.	469.	445.	455.	395.	381.	367.	364.	349.
	75.	76.	78.	88.	168.	187.	587.	673.	604.	583.	550.	479.
6 - 2	517.	554.	555.	503.	434.	287.	221.	223.	156.	140.	83.	80.
	328.	332.	339.	381.	406.	413.	491.	611.	667.	692.	600.	568.
7 - 1	554.	674.	625.	561.	469.	445.	455.	395.	381.	367.	364.	349.
	75.	76.	78.	88.	168.	187.	587.	673.	604.	583.	550.	479.
7 - 2	779.	799.	825.	747.	653.	371.	233.	264.	134.	112.	0.	0.
	233.	239.	250.	259.	368.	401.	1040.	1274.	1208.	1119.	1119.	921.
8 - 1	998.	1086.	1113.	949.	816.	575.	477.	475.	350.	321.	248.	245.
	779.	799.	825.	747.	653.	371.	233.	264.	134.	112.	0.	0.
8 - 2	58.	61.	65.	62.	100.	112.	350.	452.	405.	369.	219.	298.
9 - 1	331.	353.	375.	309.	268.	187.	137.	144.	98.	86.	59.	61.
	72.	59.	55.	105.	204.	547.	814.	1724.	2052.	2137.	2007.	1890.
9 - 2	1929.	2026.	1957.	1568.	1223.	926.	1115.	542.	1064.	194.	102.	83.
10 - 1	219.	213.	210.	247.	337.	585.	1247.	2122.	2830.	2570.	2432.	1952.
	1925.	2006.	1989.	1710.	1670.	1335.	741.	648.	1065.	430.	377.	251.
10 - 2	148.	147.	152.	190.	253.	599.	831.	2058.	2682.	2702.	2490.	2340.
	2243.	2354.	2291.	1900.	1512.	1150.	853.	696.	1152.	414.	303.	167.
11 - 1	2357.	2584.	2278.	2647.	2728.	3323.	3474.	4792.	5756.	5751.	5242.	5386.
	5396.	5546.	5430.	4822.	4502.	3896.	3509.	3301.	4241.	2837.	2649.	2630.
11 - 2	1917.	1951.	2056.	1919.	1675.	1102.	647.	608.	590.	723.	592.	3.
	126.	104.	97.	185.	304.	893.	1268.	3365.	4875.	4885.	4491.	4128.
12 - 1	3954.	4127.	4057.	3335.	2636.	1933.	1353.	1115.	2041.	586.	412.	146.
	28.	28.	28.	28.	28.	40.	1216.	3014.	5629.	5354.	4662.	4203.
12 - 2	3563.	4129.	3805.	3622.	2864.	2103.	950.	939.	874.	900.	779.	543.
	1140.	1289.	1102.	1200.	1159.	1201.	1661.	552.	4475.	4391.	3852.	3556.
13 - 1	3344.	3716.	4044.	3505.	3128.	2630.	2057.	1805.	1816.	1745.	1676.	1516.
	312.	274.	271.	256.	325.	494.	1661.	4198.	6928.	6745.	5696.	5508.
13 - 2	4860.	5508.	5111.	4847.	4100.	2670.	1778.	3554.	1549.	1423.	1177.	991.
	2136.	2317.	2076.	2282.	2200.	2347.	2968.	3359.	5561.	5826.	4130.	4102.
14 - 1	3424.	4074.	4952.	4211.	3915.	4249.	2998.	2449.	2658.	2726.	2737.	2371.
	649.	572.	564.	536.	685.	1054.	1643.	4284.	6318.	6511.	5290.	5590.
14 - 2	5025.	5526.	5131.	4908.	4559.	2970.	2500.	2467.	2066.	1828.	2237.	1868.
	1711.	1705.	1378.	1198.	1962.	3970.	5060.	10490.	18578.	26417.	16462.	16381.
15 - 1	16412.	16776.	16991.	15882.	14466.	10641.	6777.	6296.	5964.	4976.	3800.	2164.
	68.	94.	94.	122.	122.	230.	515.	888.	906.	954.	876.	755.
15 - 2	758.	852.	855.	856.	690.	543.	335.	143.	131.	126.	76.	86.
	632.	732.	578.	540.	813.	1700.	2486.	4046.	6945.	10965.	6534.	6302.

16 - 1	5506. 6439. 6454. 6438. 5599. 4445. 2316. 1797. 1939. 1628. 1150. 512.
	618. 603. 665. 710. 101. 976. 1507. 2170. 2514. 2674. 2471. 2258.
16 - 2	2233. 2410. 2323. 2141. 1801. 1438. 1318. 1062. 967. 1001. 813. 679.
	692. 675. 716. 711. 110. 1049. 1927. 2134. 3173. 2942. 2829.
	2033. 2969. 2811. 2738. 2347. 1913. 1160. 839. 587. 597. 790. 747.

Emission Intensity of the Area in a Radius 2km around the Center Station
 Q_I (Heavy Oil 1/hr)

4980. 2580. 2094. 2669. 3189. 3364. 4380. 9790. 19150. 27077. 26150. 23953.
 22171. 19494. 22951. 22082. 20823. 17260. 13807. 9364. 7935. 7355. 6670. 5768.

Table 2-A-4 Estimated C_T for Each Category

| Time | Stability Categories | Estimated Values of SO _x Concentration for each Stability Category | | | | |
|------------|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | B | C | D1 | D2 | E |
| Dec. 4, 68 | | | | | | |
| 1 | | 0.017 | 0.038 | 0.076 | 0.100 | 0.144 |
| 2 | | 0.015 | 0.033 | 0.066 | 0.087 | 0.126 |
| 3 | | 0.009 | 0.019 | 0.038 | 0.051 | 0.076 |
| 4 | | 0.007 | 0.014 | 0.028 | 0.038 | 0.059 |
| 5 | | 0.019 | 0.041 | 0.081 | 0.107 | 0.157 |
| 6 | | 0.021 | 0.046 | 0.092 | 0.121 | 0.179 |
| 7 | | 0.037 | 0.080 | 0.156 | 0.200 | 0.290 |
| 8 | B | 0.049 | 0.107 | 0.208 | 0.270 | 0.396 |
| 9 | B | 0.077 | 0.167 | 0.322 | 0.415 | 0.600 |
| 10 | B | 0.072 | 0.156 | 0.299 | 0.388 | 0.561 |
| 11 | B | 0.045 | 0.096 | 0.179 | 0.227 | 0.318 |
| 12 | B | 0.034 | 0.073 | 0.135 | 0.171 | 0.238 |
| 13 | B | 0.030 | 0.064 | 0.119 | 0.151 | 0.210 |
| 14 | B | 0.036 | 0.076 | 0.143 | 0.181 | 0.252 |
| 15 | B | 0.037 | 0.079 | 0.149 | 0.191 | 0.272 |
| 16 | B | 0.031 | 0.066 | 0.126 | 0.164 | 0.240 |
| 17 | B | 0.024 | 0.052 | 0.099 | 0.130 | 0.190 |
| 18 | D | 0.024 | 0.051 | 0.096 | 0.122 | 0.170 |
| 19 | D | 0.025 | 0.053 | 0.096 | 0.119 | 0.157 |
| 20 | D | 0.022 | 0.047 | 0.085 | 0.105 | 0.140 |
| 21 | D | 0.022 | 0.047 | 0.085 | 0.103 | 0.133 |
| 22 | D | 0.022 | 0.046 | 0.083 | 0.100 | 0.127 |
| 23 | D | 0.018 | 0.038 | 0.068 | 0.084 | 0.110 |
| 24 | D | 0.010 | 0.021 | 0.039 | 0.048 | 0.064 |
| Dec. 6, 68 | | | | | | |
| 1 | E | 0.010 | 0.022 | 0.046 | 0.059 | 0.090 |
| 2 | E | 0.005 | 0.012 | 0.025 | 0.033 | 0.050 |
| 3 | E | 0.005 | 0.011 | 0.022 | 0.029 | 0.045 |
| 4 | E | 0.004 | 0.010 | 0.021 | 0.028 | 0.043 |
| 5 | | 0.004 | 0.010 | 0.021 | 0.027 | 0.042 |
| 6 | | 0.006 | 0.013 | 0.028 | 0.036 | 0.056 |
| 7 | D | 0.012 | 0.026 | 0.055 | 0.071 | 0.110 |
| 8 | B | 0.019 | 0.043 | 0.091 | 0.118 | 0.181 |
| 9 | B | 0.060 | 0.132 | 0.277 | 0.355 | 0.547 |
| 10 | B | 0.068 | 0.152 | 0.320 | 0.411 | 0.635 |
| 11 | B | 0.053 | 0.119 | 0.250 | 0.323 | 0.495 |
| 12 | B | 0.035 | 0.076 | 0.154 | 0.192 | 0.279 |
| 13 | B | 0.040 | 0.086 | 0.170 | 0.210 | 0.299 |
| 14 | B | 0.041 | 0.088 | 0.176 | 0.217 | 0.310 |
| 15 | B | 0.053 | 0.117 | 0.241 | 0.306 | 0.457 |
| 16 | B | 0.053 | 0.121 | 0.255 | 0.333 | 0.501 |
| 17 | B | 0.055 | 0.124 | 0.257 | 0.333 | 0.485 |
| 18 | D | 0.039 | 0.088 | 0.181 | 0.234 | 0.329 |
| 19 | | 0.034 | 0.074 | 0.150 | 0.189 | 0.264 |
| 20 | | 0.028 | 0.062 | 0.129 | 0.165 | 0.244 |
| 21 | | 0.022 | 0.050 | 0.103 | 0.132 | 0.195 |
| 22 | | 0.023 | 0.049 | 0.097 | 0.119 | 0.166 |
| 23 | | 0.022 | 0.046 | 0.089 | 0.105 | 0.140 |
| 24 | | 0.023 | 0.049 | 0.092 | 0.109 | 0.141 |

| Time | Stability Categories | Estimated Values of SO _x Concentration for each Stability Category | | | | |
|-----------|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | B | C | D1 | D2 | E |
| Dec.13,68 | | | | | | |
| 1 | D | 0.011 | 0.024 | 0.050 | 0.064 | 0.090 |
| 2 | E | 0.011 | 0.024 | 0.049 | 0.063 | 0.087 |
| 3 | E | 0.008 | 0.019 | 0.038 | 0.049 | 0.068 |
| 4 | E | 0.009 | 0.021 | 0.042 | 0.054 | 0.075 |
| 5 | E | 0.012 | 0.028 | 0.057 | 0.073 | 0.101 |
| 6 | D | 0.015 | 0.034 | 0.070 | 0.089 | 0.123 |
| 7 | C | 0.014 | 0.031 | 0.064 | 0.082 | 0.115 |
| 8 | C | 0.012 | 0.026 | 0.054 | 0.068 | 0.096 |
| 9 | C | 0.013 | 0.028 | 0.058 | 0.074 | 0.106 |
| 10 | C | 0.015 | 0.033 | 0.070 | 0.090 | 0.136 |
| 11 | C | 0.022 | 0.048 | 0.101 | 0.129 | 0.194 |
| 12 | C | 0.026 | 0.057 | 0.115 | 0.145 | 0.208 |
| 13 | C | 0.027 | 0.058 | 0.116 | 0.144 | 0.200 |
| 14 | C | 0.022 | 0.049 | 0.099 | 0.124 | 0.172 |
| 15 | C | 0.027 | 0.058 | 0.114 | 0.141 | 0.188 |
| 16 | C | 0.030 | 0.065 | 0.126 | 0.156 | 0.209 |
| 17 | C | 0.027 | 0.060 | 0.118 | 0.148 | 0.204 |
| 18 | D | 0.024 | 0.054 | 0.108 | 0.136 | 0.193 |
| 19 | E | 0.019 | 0.042 | 0.087 | 0.111 | 0.166 |
| 20 | E | 0.020 | 0.044 | 0.091 | 0.117 | 0.172 |
| 21 | | 0.021 | 0.047 | 0.098 | 0.126 | 0.184 |
| 22 | | 0.017 | 0.037 | 0.076 | 0.097 | 0.143 |
| 23 | | 0.037 | 0.078 | 0.149 | 0.180 | 0.244 |
| 24 | | 0.030 | 0.063 | 0.119 | 0.142 | 0.185 |
| Dec.25,68 | | | | | | |
| 1 | | 0.027 | 0.059 | 0.121 | 0.153 | 0.211 |
| 2 | | 0.032 | 0.070 | 0.142 | 0.177 | 0.241 |
| 3 | | 0.015 | 0.033 | 0.067 | 0.085 | 0.122 |
| 4 | | 0.019 | 0.042 | 0.087 | 0.111 | 0.160 |
| 5 | | 0.015 | 0.033 | 0.068 | 0.087 | 0.127 |
| 6 | | 0.017 | 0.039 | 0.080 | 0.102 | 0.150 |
| 7 | | 0.029 | 0.061 | 0.122 | 0.151 | 0.213 |
| 8 | D | 0.055 | 0.117 | 0.229 | 0.278 | 0.383 |
| 9 | B | 0.062 | 0.133 | 0.300 | 0.321 | 0.452 |
| 10 | B | 0.071 | 0.153 | 0.302 | 0.370 | 0.524 |
| 11 | B | 0.076 | 0.163 | 0.325 | 0.400 | 0.570 |
| 12 | B | 0.079 | 0.167 | 0.336 | 0.414 | 0.591 |
| 13 | C | 0.071 | 0.154 | 0.311 | 0.389 | 0.564 |
| 14 | C | 0.058 | 0.133 | 0.285 | 0.380 | 0.563 |
| 15 | C | 0.049 | 0.114 | 0.245 | 0.331 | 0.488 |
| 16 | C | 0.034 | 0.081 | 0.177 | 0.245 | 0.359 |
| 17 | D | 0.026 | 0.061 | 0.130 | 0.175 | 0.255 |
| 18 | D | 0.016 | 0.037 | 0.079 | 0.105 | 0.154 |
| 19 | | 0.0121 | 0.018 | 0.061 | 0.082 | 0.119 |
| 20 | | 0.026 | 0.064 | 0.142 | 0.202 | 0.291 |
| 21 | | 0.028 | 0.071 | 0.161 | 0.232 | 0.338 |
| 22 | | 0.032 | 0.080 | 0.178 | 0.254 | 0.372 |
| 23 | | 0.004 | 0.011 | 0.025 | 0.036 | 0.056 |
| 24 | | 0.019 | 0.040 | 0.073 | 0.085 | 0.108 |

| Time | Stability Categories | Estimated Values of SO _x Concentration for each Stability Category | | | | |
|-----------|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | B | C | D1 | D2 | E |
| Jan.21,69 | | | | | | |
| 1 | D | 0.016 | 0.036 | 0.072 | 0.099 | 0.153 |
| 2 | D | 0.013 | 0.028 | 0.057 | 0.078 | 0.121 |
| 3 | D | 0.012 | 0.027 | 0.053 | 0.073 | 0.113 |
| 4 | D | 0.012 | 0.027 | 0.055 | 0.075 | 0.115 |
| 5 | D | 0.015 | 0.034 | 0.067 | 0.092 | 0.142 |
| 6 | D | 0.010 | 0.022 | 0.043 | 0.058 | 0.090 |
| 7 | D | 0.011 | 0.024 | 0.048 | 0.064 | 0.098 |
| 8 | D | 0.017 | 0.038 | 0.074 | 0.099 | 0.152 |
| 9 | D | 0.041 | 0.090 | 0.178 | 0.242 | 0.370 |
| 10 | D | 0.044 | 0.097 | 0.193 | 0.262 | 0.400 |
| 11 | D | 0.049 | 0.108 | 0.205 | 0.292 | 0.448 |
| 12 | D | 0.069 | 0.159 | 0.332 | 0.465 | 0.700 |
| 13 | D | 0.083 | 0.200 | 0.430 | 0.614 | 0.913 |
| 14 | D | 0.086 | 0.206 | 0.437 | 0.619 | 0.904 |
| 15 | D | 0.064 | 0.149 | 0.307 | 0.424 | 0.620 |
| 16 | D | 0.034 | 0.073 | 0.139 | 0.179 | 0.256 |
| 17 | D | 0.018 | 0.039 | 0.079 | 0.105 | 0.155 |
| 18 | D | 0.015 | 0.032 | 0.065 | 0.090 | 0.127 |
| 19 | D | 0.013 | 0.029 | 0.058 | 0.076 | 0.113 |
| 20 | D | 0.013 | 0.028 | 0.057 | 0.076 | 0.111 |
| 21 | | 0.013 | 0.029 | 0.058 | 0.077 | 0.112 |
| 22 | | 0.010 | 0.022 | 0.045 | 0.059 | 0.087 |
| 23 | | 0.011 | 0.025 | 0.050 | 0.066 | 0.097 |
| 24 | D | 0.011 | 0.025 | 0.049 | 0.066 | 0.094 |
| Jan.23,69 | | | | | | |
| 1 | D | 0.019 | 0.040 | 0.073 | 0.089 | 0.115 |
| 2 | | 0.024 | 0.048 | 0.083 | 0.096 | 0.110 |
| 3 | | 0.029 | 0.061 | 0.112 | 0.136 | 0.174 |
| 4 | | 0.026 | 0.055 | 0.104 | 0.130 | 0.174 |
| 5 | | 0.022 | 0.049 | 0.100 | 0.137 | 0.206 |
| 6 | | 0.023 | 0.051 | 0.106 | 0.145 | 0.225 |
| 7 | | 0.022 | 0.050 | 0.103 | 0.141 | 0.218 |
| 8 | D | 0.024 | 0.053 | 0.105 | 0.145 | 0.224 |
| 9 | C | 0.017 | 0.038 | 0.076 | 0.105 | 0.162 |
| 10 | B | 0.015 | 0.034 | 0.069 | 0.096 | 0.148 |
| 11 | B | 0.027 | 0.062 | 0.126 | 0.174 | 0.256 |
| 12 | B | 0.033 | 0.077 | 0.159 | 0.220 | 0.321 |
| 13 | B | 0.039 | 0.091 | 0.189 | 0.263 | 0.382 |
| 14 | B | 0.024 | 0.056 | 0.117 | 0.162 | 0.236 |
| 15 | C | 0.016 | 0.038 | 0.077 | 0.106 | 0.158 |
| 16 | C | 0.008 | 0.018 | 0.035 | 0.048 | 0.074 |
| 17 | C | 0.014 | 0.033 | 0.068 | 0.093 | 0.138 |
| 18 | C | 0.013 | 0.031 | 0.063 | 0.087 | 0.128 |
| 19 | | 0.019 | 0.046 | 0.097 | 0.137 | 0.197 |
| 20 | | 0.011 | 0.027 | 0.056 | 0.078 | 0.113 |
| 21 | | 0.011 | 0.026 | 0.055 | 0.077 | 0.111 |
| 22 | | 0.007 | 0.015 | 0.030 | 0.040 | 0.062 |
| 23 | | 0.007 | 0.016 | 0.032 | 0.045 | 0.071 |
| 24 | | 0.004 | 0.010 | 0.022 | 0.031 | 0.049 |

Table 2-A-5 Data for a Estimation of a Concentration at the Center Station

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) |
|----------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 19681203 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 1344 | 25 | 2 | 63 | | 10 | 100 | | | |
| 2 | 3 | 1585 | | 2 | 51 | | 10 | 100 | | | |
| 3 | 1 | 1767 | | 2 | 60 | | 10 | 100 | | | |
| 4 | 1 | 1469 | 25 | 2 | 62 | | 10 | 100 | | | |
| 5 | 4 | 1896 | 25 | 2 | 48 | | 10 | 100 | | | |
| 7 | 16 | 1343 | 25 | 2 | 41 | | 10 | 100 | | 10 | 433 |
| 6 | 0 | 1340 | 25 | 2 | 38 | | 10 | 100 | | 432 | |
| 8 | 9 | 1062 | | 2 | 60 | 1 | 6 | 100 | | 10 | 477 |
| 9 | 1 | 856 | | 2 | 78 | 8 | 6 | 100 | | 10 | 381 |
| 10 | 1 | 1354 | | 2 | 131 | 7 | 7 | 27 | 2488 | 11 | 382 |
| 11 | 5 | 1268 | | 2 | 178 | 10 | 8 | 29 | 1935 | 7 | 471 |
| 12 | 2 | 1330 | | 2 | 157 | 25 | 6 | 21 | 1513 | 9 | 689 |
| 13 | 1 | 2701 | | 2 | 108 | 10 | 8 | 15 | 1121 | 18 | 510 |
| 14 | 16 | 4019 | | 2 | 51 | 17 | 5 | 2 | 1302 | 32 | 463 |
| 15 | 1 | 4660 | | 2 | 40 | 20 | 4 | 7 | 689 | 31 | 403 |
| 16 | 1 | 4320 | | 2 | 35 | 8 | 1 | 9 | 554 | 27 | 360 |
| 17 | 1 | 4219 | | 2 | 35 | 1 | 1 | 8 | 568 | 31 | 314 |
| 18 | 1 | 4032 | | 2 | 34 | | | 9 | 494 | 31 | 523 |
| 19 | 1 | 3495 | | 2 | 32 | | | 9 | 517 | 22 | 351 |
| 20 | 1 | 2903 | | 2 | 26 | | | 10 | 509 | 20 | 398 |
| 21 | 16 | 2227 | | 2 | 41 | | | 10 | 414 | 18 | 480 |
| 22 | 1 | 1701 | | 2 | 25 | | | 9 | 529 | 16 | 588 |
| 23 | 1 | 1583 | | 2 | 40 | | | 9 | 609 | 9 | 622 |
| 24 | 1 | 1665 | | 5 | 27 | | | 10 | 719 | 11 | 598 |
| 19681204 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 6 | 1154 | | 2 | 40 | | | 11 | 489 | 3 | 802 |
| 2 | 3 | 1113 | | 2 | 39 | | | 8 | 301 | 9 | 830 |
| 3 | 3 | 1179 | | 2 | 16 | | | 6 | 252 | 10 | 791 |
| 4 | 1 | 1137 | | 2 | 37 | | 1 | 11 | 594 | 5 | 812 |
| 5 | 16 | 1118 | | 2 | 34 | | 8 | 10 | 626 | 5 | 827 |
| 6 | 1 | 1250 | | 2 | 37 | | 7 | 13 | 1070 | 3 | 592 |
| 7 | 1 | 1417 | | 2 | 49 | | 3 | 14 | 1413 | 5 | 437 |
| 8 | 2 | 1591 | | 2 | 73 | 1 | 1 | 21 | 1957 | 8 | 419 |
| 9 | 2 | 1949 | | 2 | 86 | 11 | | 22 | 1955 | 14 | 468 |
| 10 | 2 | 2393 | | 2 | 69 | 19 | | 15 | 1686 | 21 | 551 |

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---|----|----|----|------|----|-----|
| 11 | 2 | 2492 | 2 | 52 | 26 | 12 | 1391 | 19 | 582 |
| 12 | 2 | 2101 | 2 | 46 | 31 | 11 | 1288 | 16 | 457 |
| 13 | 2 | 1649 | 2 | 42 | 24 | 11 | 1365 | 11 | 620 |
| 14 | 3 | 1493 | 2 | 53 | 23 | 12 | 1376 | 10 | 628 |
| 15 | 3 | 1510 | 2 | 55 | 8 | 14 | 1186 | 11 | 633 |
| 16 | 2 | 1540 | 2 | 67 | 5 | 14 | 1074 | 15 | 632 |
| 17 | 2 | 1872 | 2 | 82 | 1 | 15 | 1169 | 19 | 546 |
| 18 | 2 | 1824 | 2 | 73 | | 13 | 1218 | 17 | 527 |
| 19 | 2 | 2066 | 2 | 81 | | 13 | 1077 | 20 | 507 |
| 20 | 2 | 2111 | 2 | 53 | | 12 | 953 | 15 | 499 |
| 21 | 2 | 2467 | 2 | 45 | | 10 | 846 | 17 | 446 |
| 22 | 13 | 2406 | 2 | 54 | | 10 | 711 | 17 | 379 |
| 23 | 3 | 2741 | 2 | 45 | | 8 | 452 | 24 | 414 |
| 24 | 2 | 2714 | 2 | 34 | | 10 | 376 | 26 | 417 |
| 19681205 | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3156 | 2 | 33 | | 10 | 348 | 26 | 377 |
| 2 | 3 | 2982 | 2 | 29 | | 6 | 358 | 26 | 391 |
| 3 | 2 | 2989 | 2 | 26 | | 10 | 368 | 21 | 391 |
| 4 | 2 | 3588 | 2 | 26 | | 6 | 360 | 25 | 347 |
| 5 | 2 | 3207 | 2 | 26 | | 5 | 464 | 27 | 373 |
| 6 | 2 | 3294 | 2 | 24 | | 6 | 504 | 26 | 376 |
| 7 | 1 | 2874 | 2 | 24 | | 6 | 660 | 21 | 350 |
| 8 | 2 | 3003 | 2 | 37 | | 7 | 836 | 28 | 347 |
| 9 | 2 | 3325 | 2 | 39 | | 7 | 459 | 28 | 381 |
| 10 | 2 | 3252 | 2 | 38 | 1 | 8 | 780 | 30 | 336 |
| 11 | 2 | 2722 | 2 | 41 | 4 | 9 | 892 | 25 | 375 |
| 12 | 1 | 2316 | 2 | 38 | 7 | 8 | 959 | 21 | 445 |
| 13 | 1 | 2225 | 2 | 48 | 8 | 9 | 1061 | 21 | 451 |
| 14 | 15 | 1814 | 2 | 65 | 6 | 9 | 1640 | 15 | 478 |
| 15 | 12 | 2330 | 2 | 55 | 4 | 12 | 1970 | 19 | 417 |
| 16 | 13 | 2732 | 2 | 54 | 4 | 10 | 1847 | 15 | 373 |
| 17 | 13 | 2611 | 2 | 57 | 1 | 10 | 1313 | 12 | 357 |
| 18 | 13 | 2691 | 2 | 60 | | 9 | 762 | 15 | 350 |
| 19 | 15 | 3372 | 2 | 46 | | 8 | 625 | 23 | 361 |
| 20 | 14 | 2585 | 2 | 57 | | 7 | 755 | 20 | 359 |
| 21 | 14 | 2457 | 2 | 52 | | 6 | 715 | 20 | 371 |
| 22 | 13 | 2491 | 2 | 49 | | 6 | 600 | 19 | 367 |
| 23 | 14 | 2775 | 2 | 46 | | 5 | 561 | 12 | 344 |
| 24 | 14 | 2651 | 5 | 42 | | 6 | 428 | 22 | 353 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|------|-----|----|----|----|------|----|-----|
| 19681206 | 2 | 14 | 2856 | 2 | 47 | 7 | 6 | 238 | 22 | 337 |
| 1 | 14 | 2856 | 2 | 35 | 6 | 5 | 5 | 219 | 25 | 328 |
| 2 | 14 | 2985 | 2 | 44 | 3 | 5 | 5 | 193 | 19 | 331 |
| 3 | 14 | 2945 | 2 | 63 | 3 | 6 | 6 | 182 | 17 | 364 |
| 4 | 14 | 2532 | 2 | 57 | 1 | 7 | 7 | 271 | 24 | 304 |
| 5 | 14 | 2160 | 2 | 57 | 1 | 6 | 6 | 708 | 10 | 509 |
| 6 | 15 | 1834 | 2 | 54 | 5 | 6 | 6 | 1081 | 9 | 459 |
| 7 | 14 | 1279 | 2 | 83 | 1 | 8 | 8 | 2394 | 12 | 448 |
| 8 | 14 | 1369 | 2 | 82 | 12 | 10 | 10 | 3174 | 21 | 480 |
| 9 | 16 | 2211 | 2 | 47 | 20 | 4 | 4 | 2513 | 14 | 562 |
| 10 | 1 | 2389 | 2 | 31 | 24 | 2 | 2 | 1209 | 12 | 604 |
| 11 | 2 | 2162 | 2 | 35 | 25 | 5 | 5 | 1264 | 15 | 502 |
| 12 | 2 | 2326 | 2 | 37 | 22 | 3 | 3 | 1385 | 12 | 586 |
| 13 | 1 | 1792 | 2 | 33 | 16 | 5 | 5 | 1809 | 12 | 540 |
| 14 | 14 | 2172 | 2 | 51 | 17 | 8 | 8 | 2211 | 19 | 504 |
| 15 | 12 | 2030 | 2 | 50 | 11 | 7 | 12 | 2373 | 14 | 572 |
| 16 | 15 | 1767 | 2 | 35 | 2 | 8 | 11 | 2032 | 16 | 596 |
| 17 | 1 | 1670 | 2 | 43 | 2 | 12 | 11 | 1538 | 11 | 617 |
| 18 | 1 | 1598 | 2 | 48 | 2 | 10 | 10 | 1253 | 11 | 653 |
| 19 | 1 | 1488 | 2 | 48 | 2 | 11 | 11 | 919 | 10 | 679 |
| 20 | 3 | 1419 | 2 | 45 | 2 | 12 | 12 | 996 | 12 | 743 |
| 21 | 2 | 1271 | 2 | 45 | 2 | 15 | 15 | 991 | 12 | 610 |
| 22 | 2 | 1623 | 2 | 46 | 2 | 15 | 15 | 1096 | 12 | 641 |
| 23 | 1 | 1522 | 2 | 42 | 2 | 14 | 14 | 858 | 11 | 686 |
| 24 | 1 | 1400 | 2 | 37 | 10 | 9 | 9 | 747 | 12 | 607 |
| 19681207 | 2 | 12 | 2 | 42 | 10 | 13 | 13 | 735 | 16 | 649 |
| 1 | 1 | 1632 | 2 | 40 | 10 | 12 | 12 | 727 | 9 | 298 |
| 2 | 1 | 1502 | 2 | 41 | 3 | 11 | 11 | 797 | 8 | 567 |
| 3 | 2 | 1663 | 2 | 40 | 10 | 11 | 11 | 774 | 8 | 610 |
| 4 | 1 | 1784 | 2 | 39 | 10 | 13 | 13 | 781 | 8 | 483 |
| 5 | 2 | 1623 | 2 | 45 | 10 | 13 | 13 | 1002 | 12 | 428 |
| 6 | 1 | 1651 | 2 | 71 | 10 | 14 | 14 | 1407 | 12 | 407 |
| 7 | 1 | 1423 | 2 | 77 | 10 | 12 | 12 | 1747 | 8 | 387 |
| 8 | 1 | 1609 | 2 | 93 | 14 | 28 | 28 | 1671 | 9 | 465 |
| 9 | 3 | 1509 | 2 | 94 | 20 | 6 | 6 | 1414 | 11 | 595 |
| 10 | 16 | 1539 | 2 | 83 | 26 | 22 | 22 | 1513 | 9 | 743 |
| 11 | 1 | 1241 | 2 | 104 | 23 | 10 | 15 | 870 | 17 | 742 |
| 12 | 5 | 1541 | 2 | | | | | | | |
| 13 | 8 | 1543 | 2 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|----|-----|----|----|----|------|----|-----|
| 14 | 10 | 1730 | 2 | 95 | 25 | 6 | 15 | 1528 | 16 | 674 |
| 15 | 13 | 1456 | 2 | 121 | 5 | 9 | 16 | 1975 | 8 | 639 |
| 16 | 12 | 1315 | 2 | 123 | 5 | 8 | 18 | 3085 | 8 | 620 |
| 17 | 15 | 1060 | 2 | 122 | | 6 | 20 | 3030 | 5 | 865 |
| 18 | 1 | 994 | 2 | 105 | | | 24 | 2994 | 7 | 914 |
| 19 | 16 | 1356 | 2 | 10 | | | 19 | 1845 | 10 | 704 |
| 20 | 16 | 1424 | 2 | 58 | | | 17 | 984 | 11 | 677 |
| 21 | 3 | 1185 | 2 | 13 | | | 16 | 480 | 7 | 187 |
| 22 | 4 | 1506 | 2 | 43 | | | 11 | 340 | 5 | 647 |
| 23 | 2 | 1322 | 2 | 49 | | | 13 | 605 | 9 | 719 |
| 24 | 4 | 1243 | 4 | 39 | | | 13 | 446 | 4 | 758 |
| 19681210 | 1 | 6 | 20 | | | | | | | |
| 1 | 1 | 2411 | 2 | 23 | | 7 | 8 | 334 | 21 | 455 |
| 2 | 1 | 1658 | 2 | 22 | | 10 | 7 | 466 | 14 | 600 |
| 3 | 13 | 1217 | 2 | 27 | | 10 | 5 | 567 | 8 | 616 |
| 4 | 9 | 1579 | 2 | 27 | | 10 | 6 | 576 | 8 | 505 |
| 5 | 5 | 1565 | 2 | 29 | | 10 | 6 | 379 | 5 | 628 |
| 6 | 11 | 1740 | 2 | 32 | | 10 | 6 | 255 | 10 | 459 |
| 7 | 11 | 2085 | 2 | 51 | | 10 | 6 | 169 | 19 | 378 |
| 8 | 10 | 2011 | 2 | 62 | | 10 | 8 | 1442 | 12 | 581 |
| 9 | 11 | 2562 | 2 | 79 | 2 | 10 | 10 | 1756 | 27 | 374 |
| 10 | 12 | 2555 | 2 | 87 | 7 | 10 | 11 | 2289 | 22 | 566 |
| 11 | 12 | 3023 | 2 | 105 | 12 | 10 | 9 | 1608 | 27 | 435 |
| 12 | 11 | 2400 | 2 | 56 | 12 | 10 | 10 | 1525 | 25 | 547 |
| 13 | 12 | 2739 | 2 | 97 | 16 | 10 | 11 | 1397 | 25 | 517 |
| 14 | 12 | 2230 | 2 | 98 | 16 | 10 | 10 | 1672 | 12 | 487 |
| 15 | 10 | 2381 | 2 | 110 | 7 | 10 | 14 | 2286 | 22 | 448 |
| 16 | 11 | 2155 | 2 | 93 | 2 | 10 | 13 | 1769 | 18 | 433 |
| 17 | 11 | 2161 | 2 | 57 | | 10 | | 1075 | 18 | 404 |
| 18 | 12 | 1950 | 2 | 51 | | 10 | | 981 | 18 | 435 |
| 19 | 9 | 2048 | 2 | 44 | | 10 | | 918 | 18 | 419 |
| 20 | 10 | 2048 | 2 | 54 | | 9 | | 1281 | 18 | 419 |
| 21 | 13 | 2048 | 2 | 68 | | 10 | | 1253 | 18 | 419 |
| 22 | 16 | 1847 | 2 | 46 | | 10 | | 1253 | 18 | 522 |
| 23 | 1 | 1849 | 25 | 59 | | 10 | | 489 | 14 | 553 |
| 24 | 16 | 1576 | 5 | 44 | | 8 | | 404 | 11 | 624 |
| 19681211 | 2 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1508 | 2 | 35 | | 8 | 8 | 544 | 15 | 847 |
| 2 | 16 | 1154 | 2 | 37 | | 7 | 8 | 461 | 10 | 805 |
| 3 | 16 | 1212 | 2 | 30 | | 10 | 8 | 528 | 9 | 773 |

| | | | | | | | | | |
|---------------|----|------|-----|----|----|----|------|----|-----|
| 4 | 1 | 1419 | 2 | 23 | 4 | 8 | 561 | 7 | 679 |
| 5 | 1 | 1444 | 2 | 32 | | 8 | 710 | 15 | 669 |
| 6 | | 1256 | 2 | 26 | 1 | 7 | 1137 | 6 | 595 |
| 7 | 16 | 1164 | 2 | 38 | 10 | 7 | 1387 | 8 | 474 |
| 8 | 4 | 1411 | 2 | 59 | 2 | 13 | 1189 | 7 | 436 |
| 9 | 4 | 2079 | 2 | 54 | 10 | 12 | 631 | 9 | 468 |
| 10 | 3 | 2671 | 2 | 31 | 17 | 12 | 259 | 11 | 526 |
| 11 | 2 | 2440 | 2 | 28 | 20 | 12 | 621 | 11 | 552 |
| 12 | 2 | 2003 | 2 | 28 | 19 | 10 | 1011 | 11 | 784 |
| 13 | 1 | 2039 | 2 | 27 | 29 | 9 | 1328 | 12 | 775 |
| 14 | 2 | 2227 | 2 | 27 | 22 | 9 | 1468 | 14 | 701 |
| 15 | 2 | 2230 | 2 | 29 | 16 | 9 | 1371 | 12 | 627 |
| 16 | 3 | 2116 | 2 | 32 | 5 | 7 | 997 | 11 | 567 |
| 17 | 2 | 1908 | 2 | 45 | 1 | 10 | 942 | 11 | 538 |
| 18 | 2 | 1907 | 2 | 46 | 8 | 12 | 885 | 15 | 538 |
| 19 | 1 | 1871 | 2 | 61 | 8 | 13 | 1083 | 12 | 248 |
| 20 | 2 | 1785 | 2 | 58 | 9 | 13 | 1004 | 21 | 566 |
| 21 | 2 | 1762 | 2 | 62 | 8 | 12 | 976 | 22 | 572 |
| 22 | 2 | 1815 | 2 | 56 | 8 | 12 | 1043 | 17 | 559 |
| 23 | 2 | 1818 | 2 | 58 | 8 | 11 | 980 | 16 | 558 |
| 24 | 2 | 1986 | 5 | 60 | 8 | 11 | 823 | 15 | 522 |
| 19681212 2 20 | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 2153 | 2 | 47 | 6 | 10 | 672 | 20 | 492 |
| 2 | 2 | 2170 | 2 | 44 | 8 | 11 | 706 | 20 | 489 |
| 3 | 2 | 2375 | 2 | 36 | 10 | 11 | 670 | 18 | 458 |
| 4 | 1 | 2175 | 25 | 35 | 10 | 10 | 612 | 16 | 488 |
| 5 | 2 | 2229 | 75 | 32 | 10 | 8 | 561 | 18 | 479 |
| 6 | 2 | 2508 | 75 | 33 | 10 | 8 | 660 | 19 | 402 |
| 7 | 2 | 3156 | 25 | 33 | 1 | 7 | 841 | 26 | 344 |
| 8 | 2 | 2927 | 25 | 39 | 10 | 9 | 961 | 21 | 349 |
| 9 | 2 | 2977 | 75 | 42 | 4 | 9 | 982 | 21 | 74 |
| 10 | 2 | 3165 | 125 | 60 | 1 | 8 | 958 | 25 | 359 |
| 11 | 2 | 3207 | 125 | 48 | 4 | 8 | 887 | 24 | 397 |
| 12 | 2 | 3460 | 75 | 44 | 5 | 8 | 816 | 22 | 366 |
| 13 | 2 | 3491 | 325 | 42 | 2 | 8 | 607 | 29 | 365 |
| 14 | 2 | 3544 | 475 | 38 | 1 | 7 | 562 | 28 | 361 |
| 15 | 1 | 2954 | 325 | 39 | 1 | 7 | 626 | 25 | 379 |
| 16 | 1 | 3070 | 225 | 40 | 10 | 7 | 666 | 25 | 379 |
| 17 | 1 | 2568 | 125 | 48 | 10 | 8 | 726 | 19 | 455 |
| 18 | 1 | 2320 | 325 | 50 | 10 | 9 | 471 | 16 | 466 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|-----|---|----|----|----|------|----|-----|
| 19 | 6 | 1519 | 125 | 2 | 42 | 10 | 7 | 468 | 7 | 523 |
| 20 | 13 | 1675 | 25 | 2 | 66 | 10 | 7 | 646 | 12 | 483 |
| 21 | 15 | 2484 | 75 | 2 | 63 | 10 | 7 | 376 | 18 | 368 |
| 22 | 14 | 3132 | 25 | 2 | 47 | 10 | 7 | 540 | 23 | 317 |
| 23 | 15 | 3359 | | 2 | 45 | 10 | 7 | 514 | 29 | 362 |
| 24 | 15 | 3134 | | 2 | 53 | 2 | 10 | 505 | 24 | 378 |
| 19681213 | | | | | | | | | | |
| 1 | 15 | 3389 | 0 | 2 | 42 | 9 | 8 | 546 | 32 | 360 |
| 2 | 10 | 3211 | | 2 | 36 | 8 | 7 | 938 | 33 | 314 |
| 3 | 15 | 2723 | | 2 | 34 | 8 | 6 | 968 | 18 | 416 |
| 4 | 15 | 2342 | | 2 | 34 | 10 | 6 | 1061 | 18 | 463 |
| 5 | 15 | 2800 | | 2 | 32 | 9 | 6 | 722 | 27 | 408 |
| 6 | 15 | 3198 | | 2 | 36 | 9 | 7 | 752 | 31 | 383 |
| 7 | 16 | 3745 | | 2 | 33 | 9 | 9 | 661 | 36 | 334 |
| 8 | 16 | 3845 | | 2 | 42 | 7 | 10 | 632 | 22 | 333 |
| 9 | 1 | 3981 | | 2 | 42 | 4 | 12 | 614 | 26 | 457 |
| 10 | 1 | 3793 | | 2 | 39 | 9 | 11 | 738 | 20 | 530 |
| 11 | 15 | 3411 | | 2 | 29 | 7 | 10 | 250 | 26 | 493 |
| 12 | 15 | 3881 | | 2 | 34 | 14 | 11 | 1010 | 30 | 455 |
| 13 | 15 | 3413 | | 2 | 34 | 18 | 12 | 954 | 25 | 487 |
| 14 | 15 | 3643 | | 2 | 28 | 13 | 12 | 1132 | 30 | 453 |
| 15 | 15 | 2995 | | 2 | 39 | 7 | 13 | 1237 | 22 | 437 |
| 16 | 1 | 3177 | | 2 | 52 | 6 | 13 | 1124 | 21 | 404 |
| 17 | 1 | 3701 | | 2 | 32 | 9 | 12 | 922 | 22 | 340 |
| 18 | 1 | 2999 | | 2 | 32 | 6 | 11 | 629 | 14 | 390 |
| 19 | 1 | 2639 | | 2 | 41 | | 13 | 550 | 17 | 425 |
| 20 | 1 | 2093 | | 2 | 39 | | 13 | 687 | 12 | 502 |
| 21 | 16 | 1458 | | 2 | 36 | | 13 | 582 | 7 | 664 |
| 22 | 2 | 1353 | | 2 | 35 | | 4 | 846 | 5 | 706 |
| 23 | 5 | 1307 | | 2 | 25 | | 1 | 599 | 2 | 726 |
| 24 | 9 | 1465 | | 5 | 38 | | 4 | 559 | 8 | 534 |
| 19681214 | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 1269 | 21 | 2 | 36 | 4 | 13 | 529 | 8 | 744 |
| 2 | 2 | 1130 | | 2 | 26 | 5 | 12 | 972 | 5 | 619 |
| 3 | 15 | 1753 | | 2 | 26 | 5 | 13 | 1183 | 15 | 574 |
| 4 | 3 | 1806 | | 2 | 39 | | 14 | 866 | 16 | 561 |
| 5 | 16 | 1720 | | 2 | 29 | | 13 | 551 | 17 | 585 |
| 6 | 2 | 1823 | | 2 | 38 | | 12 | 563 | 15 | 520 |
| 7 | 2 | 1571 | | 2 | 47 | 4 | 11 | 1117 | 12 | 429 |
| 8 | 2 | 1609 | | 2 | 63 | 2 | 16 | 1699 | 12 | 421 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|-----|----|----|----|----|------|----|-----|
| 9 | 3 | 1714 | 2 | 62 | 6 | 10 | 17 | 1607 | 8 | 411 |
| 10 | 1 | 2052 | 2 | 75 | 6 | 10 | 18 | 1491 | 13 | 392 |
| 11 | 1 | 2324 | 2 | 82 | 7 | 10 | 15 | 1192 | 15 | 434 |
| 12 | 2 | 2604 | 2 | 81 | 8 | 10 | 15 | 1256 | 16 | 470 |
| 13 | 2 | 2327 | 2 | 67 | 12 | 10 | 13 | 1185 | 20 | 490 |
| 14 | 2 | 2124 | 2 | 64 | 6 | 10 | 16 | 1317 | 17 | 491 |
| 15 | 2 | 1987 | 2 | 68 | 4 | 10 | 14 | 1376 | 16 | 506 |
| 16 | 1 | 1841 | 25 | 52 | | 10 | 15 | 1341 | 15 | 537 |
| 17 | 2 | 1957 | 25 | 64 | | 10 | 15 | 1231 | 16 | 528 |
| 18 | 1 | 2005 | 25 | 57 | | 10 | 9 | 1026 | 14 | 518 |
| 20 | 2 | 1294 | 225 | 39 | | 10 | 13 | 550 | 9 | 732 |
| 21 | 7 | 1584 | 175 | 40 | | 10 | 10 | 408 | 15 | 505 |
| 22 | 9 | 1374 | 125 | 47 | | 10 | 8 | 419 | 12 | 560 |
| 23 | 9 | 1649 | 75 | 41 | | 10 | 8 | 132 | 11 | 489 |
| 24 | 9 | 1190 | 75 | 40 | | 10 | 6 | 212 | 9 | 627 |
| 19681216 | | | | | | | | | | |
| 1 | 12 | 3444 | 2 | 29 | | | 11 | | 33 | 302 |
| 2 | 16 | 3143 | 2 | 24 | | | 11 | | 11 | 378 |
| 3 | 14 | 2145 | 2 | 23 | | | 11 | 428 | 16 | 345 |
| 4 | 3 | 2293 | 2 | 24 | | | 11 | 174 | 16 | 470 |
| 5 | 2 | 2394 | 2 | 28 | | | 12 | 355 | 10 | 455 |
| 6 | 1 | 2427 | 2 | 33 | | 4 | 12 | 549 | 9 | 460 |
| 7 | 15 | 2531 | 2 | 27 | | 1 | 14 | 947 | 15 | 371 |
| 8 | 16 | 2219 | 2 | 47 | 1 | 1 | 15 | 1058 | 15 | 384 |
| 9 | 16 | 1707 | 2 | 65 | 8 | 3 | 15 | 1224 | 15 | 425 |
| 10 | 15 | 2260 | 2 | 60 | 20 | 9 | 15 | 1407 | 28 | 538 |
| 11 | 15 | 2685 | 2 | 54 | 28 | 9 | 16 | 1506 | 32 | 572 |
| 12 | 14 | 2963 | 2 | 44 | 24 | 9 | 9 | 1712 | 32 | 569 |
| 13 | 12 | 3564 | 2 | 41 | 24 | 9 | 8 | 1469 | 29 | 561 |
| 14 | 15 | 4089 | 2 | 43 | 13 | 8 | 16 | 1442 | 31 | 501 |
| 15 | 14 | 4327 | 2 | 40 | 13 | 8 | 11 | 1229 | 35 | 414 |
| 16 | 15 | 4349 | 2 | 34 | 6 | 9 | 11 | 1025 | 36 | 572 |
| 17 | 15 | 4265 | 2 | 27 | 1 | 7 | 10 | 950 | 35 | 315 |
| 18 | 13 | 4848 | 2 | 34 | | 6 | 8 | 707 | 36 | 252 |
| 19 | 13 | 5079 | 2 | 42 | | 6 | 9 | 421 | 38 | 246 |
| 20 | 13 | 4665 | 2 | 35 | | 8 | 8 | 411 | 36 | 257 |
| 21 | 15 | 4196 | 2 | 32 | | 10 | 10 | 277 | 28 | 271 |
| 22 | 12 | 4251 | 2 | 48 | | 10 | 13 | 476 | 31 | 269 |
| 23 | 12 | 3899 | 25 | 42 | | 10 | 10 | 651 | 31 | 282 |
| 24 | 13 | 3585 | 5 | 39 | | 6 | 7 | 666 | 30 | 295 |

19681217

2 10

| | | | | | | | | | |
|----|----|------|---|----|----|----|------|----|-----|
| 1 | 13 | 2869 | 2 | 34 | 2 | 10 | 416 | 19 | 336 |
| 2 | 16 | 2375 | 2 | 35 | | 12 | 209 | 12 | 458 |
| 3 | 14 | 2288 | 2 | 37 | | 12 | 217 | 12 | 359 |
| 4 | 13 | 3323 | 2 | 46 | | 11 | 204 | 23 | 308 |
| 5 | 2 | 3050 | 2 | 31 | 10 | 10 | 325 | 11 | 385 |
| 6 | 1 | 2709 | 2 | 38 | 7 | 9 | 474 | 8 | 417 |
| 7 | 1 | 1977 | 2 | 42 | 6 | 10 | 869 | 8 | 388 |
| 8 | 3 | 1520 | 2 | 69 | 4 | 13 | 1011 | 6 | 422 |
| 9 | 1 | 1396 | 2 | 84 | 1 | 18 | 1568 | 2 | 433 |
| 10 | 12 | 2714 | 2 | 94 | 6 | 11 | 1839 | 19 | 502 |
| 11 | 12 | 2882 | 2 | 68 | 24 | 11 | 2108 | 22 | 538 |
| 12 | 12 | 3180 | 2 | 51 | 28 | 11 | 1850 | 22 | 470 |
| 13 | 12 | 3573 | 2 | 48 | 31 | 8 | 1620 | 32 | 485 |
| 14 | 12 | 4183 | 2 | 54 | 26 | 7 | 1509 | 36 | 430 |
| 15 | 12 | 4481 | 2 | 52 | 23 | 15 | 1304 | 37 | 372 |
| 16 | 12 | 4126 | 2 | 55 | 11 | 10 | 1213 | 36 | 326 |
| 17 | 12 | 3060 | 2 | 62 | 1 | 13 | 1237 | 26 | 325 |
| 18 | 13 | 2272 | 2 | 54 | | 7 | 1105 | 19 | 390 |
| 19 | 13 | 1615 | 2 | 53 | | 7 | 894 | 10 | 496 |
| 20 | 7 | 1476 | 2 | 58 | 2 | 8 | 722 | 9 | 531 |
| 21 | 7 | 1323 | 2 | 72 | 2 | 12 | 318 | 8 | 277 |
| 22 | 9 | 1359 | 2 | 60 | 3 | 10 | 228 | 11 | 565 |
| 23 | 10 | 1443 | 2 | 70 | 2 | 9 | 1502 | 6 | 540 |
| 24 | 10 | 1843 | 2 | 69 | 2 | 10 | 2380 | 6 | 451 |

| | 2 | 4 | 8 |
|----------|----|------|---|
| 19681218 | | | |
| 1 | 3 | 1687 | |
| 2 | 2 | 1423 | |
| 3 | 3 | 1406 | |
| 4 | 10 | 1145 | |
| 5 | 9 | 1228 | |
| 6 | 6 | 1170 | |
| 7 | 11 | 1187 | |
| 8 | 2 | 1320 | |
| 9 | 2 | 1335 | |
| 10 | 4 | 1139 | |
| 11 | 2 | 1039 | |
| 12 | 1 | 1011 | |
| 13 | 4 | 1880 | |
| 14 | 4 | 1795 | |

| | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|-----|----|----|----|----|------|----|-----|
| 15 | 3 | 2143 | 2 | 58 | 14 | 10 | 10 | 260 | 13 | 582 |
| 16 | 2 | 1905 | 2 | 52 | 11 | 10 | 13 | 686 | 18 | 572 |
| 17 | 2 | 1779 | 2 | 72 | | 10 | 29 | 1038 | 13 | 568 |
| 18 | 2 | 2074 | 2 | 71 | | 10 | 14 | 1107 | 19 | 506 |
| 19 | 2 | 2068 | 2 | 66 | | 10 | 11 | 1048 | 20 | 507 |
| 20 | 1 | 1795 | 2 | 62 | | 10 | 2 | 943 | 18 | 564 |
| 21 | 2 | 2206 | 25 | 57 | | 10 | 7 | 831 | 28 | 483 |
| 22 | 2 | 1973 | 25 | 49 | | 10 | 7 | 833 | 14 | 525 |
| 23 | 2 | 2102 | 75 | 49 | | 10 | 6 | 752 | 17 | 501 |
| 24 | 2 | 2475 | 25 | 42 | | 10 | 6 | 681 | 24 | 442 |
| 19681219 | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 2534 | 25 | 32 | | 10 | 5 | 543 | 21 | 437 |
| 2 | 2 | 2956 | 25 | 31 | | 10 | 4 | 540 | 26 | 393 |
| 3 | 2 | 3626 | 25 | 38 | | 10 | 5 | 479 | 33 | 345 |
| 4 | 2 | 4124 | 25 | 35 | | 10 | 4 | 424 | 33 | 319 |
| 5 | 2 | 4068 | 75 | 31 | | 10 | 3 | 361 | 33 | 321 |
| 6 | 2 | 3166 | 225 | 29 | | 10 | 2 | 379 | 29 | 379 |
| 7 | 2 | 2953 | 75 | 34 | | 10 | 4 | 625 | 28 | 348 |
| 8 | 2 | 2845 | 25 | 43 | | 10 | 5 | 922 | 26 | 351 |
| 9 | 2 | 2719 | 25 | 50 | | 10 | 7 | 1103 | 27 | 379 |
| 10 | 1 | 2237 | | 49 | 2 | 10 | 10 | 1292 | 15 | 325 |
| 11 | 16 | 1600 | | 49 | 6 | 10 | 12 | 1237 | 11 | 375 |
| 12 | 15 | 1443 | | 60 | 18 | 6 | 11 | 1748 | 14 | 551 |
| 13 | 15 | 1943 | | 52 | 6 | 10 | 9 | 1623 | 10 | 487 |
| 14 | 15 | 2912 | | 43 | 6 | 10 | 9 | 1966 | 35 | 465 |
| 15 | 15 | 2983 | | 47 | 6 | 7 | 8 | 1587 | 21 | 439 |
| 16 | 15 | 2687 | | 49 | 5 | 9 | 10 | 1445 | 25 | 437 |
| 17 | 15 | 2291 | | 42 | | 10 | 6 | 1481 | 18 | 470 |
| 18 | 15 | 2226 | | 57 | | 7 | 8 | 1525 | 15 | 480 |
| 19 | 15 | 2173 | | 44 | | 4 | 8 | 1326 | 18 | 488 |
| 20 | 14 | 1788 | | 45 | | 6 | 7 | 1112 | 14 | 461 |
| 21 | 15 | 1726 | | 47 | | 8 | 6 | 1079 | 7 | 581 |
| 22 | 12 | 1039 | | 40 | | 1 | 9 | 1840 | 8 | 699 |
| 23 | 16 | 1133 | | 56 | | | 10 | 1671 | 5 | 818 |
| 24 | 9 | 1172 | | 52 | | 1 | 11 | 1340 | 8 | 635 |
| 19681220 | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 1148 | 19 | 43 | | | 6 | 243 | 7 | 842 |
| 2 | 9 | 1173 | | 33 | | | 6 | 207 | 11 | 634 |
| 3 | 9 | 1085 | | 38 | | 10 | 6 | 205 | 11 | 675 |
| 4 | 8 | 1326 | | 40 | | 10 | 7 | 221 | 9 | 576 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|----|------|----|-----|----|----|------|----|-----|
| 5 | 10 | 1193 | 2 | 42 | 10 | 6 | 1648 | 9 | 626 |
| 6 | 7 | 1081 | 2 | 45 | 10 | 4 | 1625 | 6 | 566 |
| 7 | 7 | 1330 | 2 | 48 | 9 | 7 | 1830 | 5 | 435 |
| 8 | 2 | 1430 | 2 | 61 | 2 | 13 | 1003 | 5 | 427 |
| 9 | 3 | 1270 | 2 | 85 | 6 | 22 | 1232 | 8 | 391 |
| 10 | 1 | 1133 | 2 | 85 | 18 | 25 | 2109 | 11 | 554 |
| 11 | 1 | 1700 | 2 | 70 | 22 | 20 | 1795 | 8 | 595 |
| 12 | 11 | 1171 | 2 | 45 | 24 | 10 | 1886 | 7 | 385 |
| 13 | 12 | 1486 | 2 | 85 | 20 | 13 | 2115 | 8 | 368 |
| 14 | 12 | 2266 | 2 | 87 | 17 | 19 | 2353 | 17 | 373 |
| 15 | 12 | 2636 | 2 | 103 | 18 | 14 | 2492 | 28 | 361 |
| 16 | 11 | 1581 | 2 | 86 | 6 | 15 | 1678 | 12 | 470 |
| 17 | 15 | 1429 | 2 | 77 | 2 | 11 | 1753 | 3 | 675 |
| 18 | 4 | 1327 | 2 | 60 | 7 | 7 | 1049 | 5 | 717 |
| 19 | 5 | 1619 | 2 | 100 | 8 | 18 | 761 | 8 | 611 |
| 20 | 15 | 1784 | 2 | 84 | 6 | 15 | 502 | 3 | 567 |
| 21 | 10 | 1208 | 2 | 70 | 5 | 14 | 1833 | 7 | 620 |
| 22 | 16 | 1313 | 2 | 79 | 6 | 17 | 1814 | 10 | 723 |
| 23 | 3 | 1607 | 2 | 75 | 7 | 21 | 1794 | 11 | 615 |
| 24 | 9 | 2139 | 2 | 67 | 6 | 16 | 315 | 14 | 407 |
| 19681221 2 8 | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1622 | 2 | 52 | 7 | 11 | 441 | 12 | 610 |
| 2 | 1 | 1713 | 2 | 58 | 6 | 17 | 543 | 15 | 585 |
| 3 | 1 | 1631 | 2 | 66 | 10 | 17 | 705 | 12 | 608 |
| 4 | 1 | 1373 | 2 | 62 | 8 | 14 | 763 | 9 | 697 |
| 5 | 1 | 1446 | 25 | 66 | 10 | 15 | 779 | 12 | 669 |
| 6 | 2 | 1262 | 25 | 77 | 10 | 19 | 1114 | 6 | 531 |
| 7 | 6 | 1779 | 75 | 77 | 10 | 14 | 949 | 6 | 396 |
| 8 | 11 | 1235 | 25 | 83 | 1 | 14 | 1022 | 9 | 447 |
| 9 | 15 | 955 | 2 | 111 | 6 | 19 | 1916 | 8 | 340 |
| 10 | 7 | 793 | 2 | 143 | 13 | 31 | 2270 | 7 | 434 |
| 11 | 9 | 1404 | 2 | 138 | 13 | 24 | 2392 | 18 | 519 |
| 12 | 12 | 2623 | 2 | 108 | 22 | 16 | 1293 | 29 | 593 |
| 13 | 11 | 3141 | 2 | 74 | 28 | 11 | 1214 | 32 | 474 |
| 14 | 12 | 3494 | 2 | 64 | 24 | 1 | 1351 | 33 | 430 |
| 15 | 11 | 3092 | 2 | 85 | 16 | 17 | 819 | 27 | 398 |
| 16 | 10 | 400 | 2 | 66 | 10 | 10 | 1037 | 27 | 310 |
| 17 | 12 | 7206 | 2 | 81 | 1 | 8 | 711 | 27 | 212 |
| 18 | 2 | 2659 | 2 | 46 | 3 | 7 | 818 | 20 | 423 |
| 19 | 2 | 2254 | 2 | 35 | 2 | 6 | 734 | 16 | 476 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----|------|---|----|---|----|-----|------|------|-----|-----|
| 19681223 | 20 | 2 | 2509 | 2 | 40 | 2 | 40 | 2 | 2 | 171 | 18 | 440 |
| | 21 | 2 | 2532 | 2 | 41 | 2 | 41 | 2 | 7 | 171 | 20 | 438 |
| | 22 | 2 | 2159 | 2 | 38 | 2 | 38 | 3 | 6 | 776 | 19 | 491 |
| | 23 | 2 | 2021 | 2 | 39 | 2 | 39 | 3 | 6 | 788 | 20 | 212 |
| | 24 | 2 | 1955 | 4 | 35 | 4 | 35 | 3 | 6 | 754 | 18 | 528 |
| 19681223 | 1 | 12 | 4070 | 2 | 35 | 2 | 35 | 100 | 28 | 273 | | |
| | 2 | 12 | 4014 | 2 | 33 | 2 | 33 | 100 | 32 | 277 | | |
| | 3 | 13 | 3254 | 2 | 30 | 2 | 30 | 100 | 26 | 312 | | |
| | 4 | 13 | 3390 | 2 | 26 | 2 | 26 | 100 | 25 | 304 | | |
| | 5 | 13 | 3862 | 2 | 31 | 2 | 31 | 100 | 34 | 285 | | |
| | 6 | 14 | 3723 | 2 | 32 | 2 | 32 | 100 | 25 | 402 | | |
| | 7 | 15 | 3890 | 2 | 37 | 2 | 37 | 100 | 16 | 339 | | |
| | 8 | 16 | 3606 | 2 | 38 | 2 | 38 | 1 | 27 | 344 | | |
| | 9 | 2 | 3376 | 2 | 38 | 2 | 38 | 1 | 864 | 447 | | |
| | 10 | 2 | 4190 | 2 | 40 | 2 | 40 | 1 | 769 | 429 | | |
| | 11 | 2 | 4572 | 2 | 40 | 2 | 40 | 1 | 783 | 34 | 514 | |
| | 12 | 2 | 5312 | 2 | 39 | 2 | 39 | 2 | 6 | 405 | | |
| | 13 | 16 | 4716 | 2 | 38 | 2 | 38 | 2 | 5 | 488 | 39 | 422 |
| | 14 | 12 | 4548 | 2 | 41 | 2 | 41 | 1 | 7 | 729 | 33 | 386 |
| | 15 | 12 | 4603 | 2 | 49 | 2 | 49 | 1 | 6 | 901 | 38 | 340 |
| | 16 | 12 | 3960 | 2 | 51 | 2 | 51 | 1 | 1183 | 37 | 312 | |
| | 17 | 12 | 2601 | 2 | 45 | 2 | 45 | 5 | 1297 | 26 | 357 | |
| | 18 | 12 | 2025 | 2 | 43 | 2 | 43 | 1 | 1517 | 21 | 422 | |
| | 19 | 11 | 1932 | 2 | 42 | 2 | 42 | 4 | 1164 | 16 | 436 | |
| | 20 | 9 | 1608 | 2 | 52 | 2 | 52 | 6 | 880 | 9 | 498 | |
| | 21 | 6 | 1533 | 2 | 62 | 2 | 62 | 6 | 371 | 6 | 638 | |
| | 22 | 8 | 1537 | 2 | 47 | 2 | 47 | 2 | 191 | 8 | 512 | |
| | 23 | 8 | 1193 | 2 | 63 | 2 | 63 | 9 | 25 | 5 | 626 | |
| | 24 | 2 | 1117 | 5 | 49 | 5 | 49 | 10 | 465 | 6 | 827 | |
| 19681224 | 2 | 2 | 1243 | 2 | 55 | 2 | 55 | 10 | 11 | 611 | 9 | 568 |
| | 3 | 2 | 1581 | 2 | 50 | 2 | 50 | 8 | 14 | 389 | 10 | 609 |
| | 4 | 2 | 1702 | 2 | 53 | 2 | 53 | 10 | 12 | 212 | 11 | 731 |
| | 5 | 2 | 1251 | 2 | 49 | 2 | 49 | 10 | 11 | 538 | 7 | 751 |
| | 6 | 2 | 1221 | 2 | 46 | 2 | 46 | 10 | 11 | 806 | 6 | 691 |
| | 7 | 2 | 1298 | 2 | 53 | 2 | 53 | 10 | 13 | 1197 | 6 | 606 |
| | 8 | 2 | 1203 | 2 | 58 | 2 | 58 | 10 | 16 | 1646 | 7 | 453 |
| | 9 | 2 | 1638 | 2 | 75 | 2 | 75 | 10 | 23 | 2004 | 4 | 434 |
| | 10 | 2 | 1573 | 2 | 70 | 2 | 70 | 4 | 22 | 2120 | 2 | 344 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|----|------|----|---|-----|----|----|----|------|----|-----|
| 10 | 2 | 1354 | 75 | 2 | 145 | 7 | 2 | 36 | 2075 | 11 | 320 |
| 11 | 2 | 3229 | | 2 | 113 | 18 | 4 | 21 | 1915 | 21 | 432 |
| 12 | 2 | 4476 | | 2 | 67 | 24 | 3 | 13 | 1546 | 38 | 525 |
| 13 | 14 | 4846 | | 2 | 23 | 25 | 3 | 5 | 725 | 40 | 545 |
| 14 | 12 | 4914 | | 2 | 28 | 29 | 4 | 5 | 279 | 44 | 578 |
| 15 | 12 | 4452 | | 2 | 47 | 19 | 1 | 9 | 104 | 38 | 550 |
| 16 | 12 | 3675 | | 2 | 61 | 11 | 2 | 17 | 833 | 27 | 850 |
| 17 | 16 | 2249 | | 2 | 51 | 2 | 3 | 13 | 776 | 15 | 441 |
| 18 | 1 | 1691 | | 2 | 55 | | | 13 | 763 | 9 | 505 |
| 19 | 2 | 1424 | | 2 | 47 | | | 12 | 383 | 10 | 720 |
| 20 | 3 | 1110 | | 2 | 44 | | | 12 | 261 | 5 | 696 |
| 21 | 6 | 1097 | | 2 | 47 | | | 12 | 1213 | 4 | 957 |
| 22 | 9 | 1427 | | 2 | 51 | | | 10 | 974 | 9 | 959 |
| 23 | 15 | 1196 | | 2 | 33 | | | 7 | 957 | 4 | 779 |
| 24 | 4 | 1438 | | 5 | 38 | | 1 | 9 | 65 | 6 | 464 |
| 19681225 | 2 | 12 | 22 | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1219 | | 2 | 43 | | 1 | 9 | 711 | 8 | 757 |
| 2 | 1 | 1075 | | 2 | 42 | | | 12 | 1056 | 11 | 824 |
| 3 | 1 | 1555 | | 2 | 46 | | | 17 | 941 | 15 | 588 |
| 4 | 16 | 1247 | | 2 | 42 | | 6 | 13 | 971 | 5 | 755 |
| 5 | 1 | 1211 | | 2 | 38 | | 6 | 10 | 1027 | 7 | 768 |
| 6 | 2 | 1368 | | 2 | 42 | | 8 | 11 | 1296 | 10 | 519 |
| 7 | 2 | 1580 | | 2 | 51 | | 10 | 15 | 1722 | 6 | 451 |
| 8 | 1 | 1549 | | 2 | 62 | | 2 | 19 | 1931 | 10 | 402 |
| 9 | 2 | 1703 | | 2 | 97 | | 6 | 33 | 2070 | 9 | 344 |
| 10 | 2 | 1455 | | 2 | 98 | | 8 | 33 | 1853 | 6 | 308 |
| 11 | 1 | 1146 | | 2 | 91 | | 6 | 28 | 1544 | 8 | 461 |
| 12 | 1 | 1437 | | 2 | 78 | | 3 | 18 | 957 | 10 | 426 |
| 13 | 10 | 1705 | | 2 | 77 | | 10 | 19 | 834 | 16 | 384 |
| 14 | 12 | 2294 | | 2 | 71 | | 10 | 17 | 965 | 24 | 351 |
| 15 | 11 | 2754 | | 2 | 78 | | 8 | 14 | 1109 | 25 | 325 |
| 16 | 12 | 2289 | | 2 | 81 | | 10 | 19 | 1109 | 24 | 514 |
| 17 | 11 | 2005 | | 2 | 59 | | 10 | 14 | 1000 | 20 | 476 |
| 18 | 8 | 1754 | | 2 | 66 | | 10 | 17 | 978 | 14 | 591 |
| 19 | 10 | 1257 | | 2 | 63 | | 6 | 14 | 1026 | 9 | 677 |
| 20 | 9 | 1339 | | 2 | 55 | | 2 | 14 | 967 | 11 | 832 |
| 21 | 8 | 1382 | | 2 | 52 | | 2 | 13 | 641 | 10 | 840 |
| 22 | 7 | 1313 | | 2 | 55 | | | 13 | 378 | 5 | 545 |
| 23 | 2 | 1444 | | 2 | 67 | | | 14 | 727 | 7 | 781 |
| 24 | 1 | 1258 | | 5 | 60 | | | 16 | 692 | 7 | 672 |

Program Name: AIR POLLUTION CT (for Horizontal
Transportation of Pollutants)

| Program Symbol | Definition |
|----------------|---|
| Input; | |
| QP(jt,n) | Emission intensity of the point source
No. n at jt o'clock (n=1,66), (jt=1,24) |
| SO2(n) | Sulphur content rate of the point source
No. n (n=1,66) |
| XL(i) | Reference distance of a area source
(i=1,2) |
| AP | Parameter α in $\sigma_z = \alpha x^v$ |
| BP | Parameter v in $\sigma_z = \alpha x^v$ |
| EP,DP | Unavailable parameter |
| H(n) | Stack height of the n-th point source
(n=1,66) |
| X(n) | Distance of the n-th point source
(n=1,66) |
| HOOI(n) | Direction of the n-th point source
(16-sectors) (n=1,66) |
| QL(i,j,jt) | Emission intensity of the i-th area
source in the j-th direction at jt
o'clock (i=1: inside, i=2: outside)
(j=1,16), (jt=1,24) |
| IDAY | Date |
| LT | Time |
| HUK00 | Wind direction |
| HUO | Wind speed |
| HC | Observed concentration of SO _x |
| INDEX | Index for a continuation of simulation |
| Output; | |
| QPT(m,jt) | Total emission intensity of the m-th
control section at jt o'clock |
| N3 | Number of a estimation point of the
pollutants concentration |
| IDAY | Date |

Output (continued)

| | |
|--------------|--|
| LT | Time of a estimated CT |
| SUM(N3,jt) | Estimated CT of th N3-th point at jt o'clock (N3=3: The Center Station) (jt=1,24) |
| CPT(K3,LT) | If $1 \leq K3 \leq 7$, concentration by the point sources in the K3-th control section emitted at LT o'clock,
If $8 \leq K3 \leq 14$, concentration by the area sources in the K3-th control section emitted at LT o'clock, (LT=LT2: 2-3 hours before, LT=LT1: 1-2 hours before, LT=LT: 0-1 hours before) |
| J | Predicted or Observed value of wind direction |
| T1(J,LTT) | Frequency of the J-th wind direction in the period (LTT-1) to LTT hours (LTT=1,3), (j=1,16) |
| UAVE1(J,LTT) | Mean wind speed of the J-th wind direction on the period (LTT-1) to LTT hours (LTT=1,3), (J=1,16) |
| UAVE3(J) | Mean wind speed for 3 hours blowing from th J-th direction (J=1,16) |

Program Name: AIR POLLUTION CT

```

C      AIR POLLUTION CT
1      DIMENSION WP(24,66),HOOI(66),SO2(66),X(66),HUKO(6),U(6),U1(16,3),
      1      T1(16,3),UAVE1(16,3),UAVE3(16),XL(2),WL(2,16,24),CP(66),
      2      CL(2,16),NUP(66),NUML(2,16),CPT(20,24),R(20,24),H(66)
      3      ,SUM(10,24),QPT(7,24),Z1(16,3),Z2(16,3),Z3(16,3)
2      INTEGER HUKO,HOOI,H1,HUO,HUKOO,HC
3      N5=10
4      ALH=30.
5      N3=3
6      READ(5,100) @P,SO2,XL*AP,BP,EP,DP,H
7      100 FORMAT(12F6.0)
8      EP=2.*AP*AP
9      XL(1)=(1.-BP)*4125000./(3500.**(1.-BP)-2000.**(1.-BP))
10     XL(2)=(1.-BP)*9000000./(5500.**(1.-BP)-3500.**(1.-BP))
11     DO 167 JT=1,24
12     DO 167 NM=1,7
13     167 QPT(NM,JT)=0.
14     DO 323 JT=1,24
15     DO 321 NNN=1,66
16     GO TO (51,51,51,51,51,51,51,51,52,53,53,51,51,51,51,56,56,56,56,
      156,56,56,56,56,56,54,54,54,54,54,54,54,54,56,56,56,56,56,56,
      256,56,51,51,51,52,52,52,52,52,52,52,52,54,52,52,52,51,51,51,51,57,
      354,54,53),NNN
17     51 NH=1
18     GO TO 166
19     52 NH=2
20     GO TO 166
21     53 NH=3
22     GO TO 166
23     54 NH=4
24     GO TO 166
25     55 NH=5
26     GO TO 166
27     56 NH=6
28     GO TO 166
29     57 NH=7
30     166 QPT(NH,JT)=QPT(NH,JT)+@P(JT,NNN)
31     321 CONTINUE
32     323 CONTINUE
33     WRITE(6,322)@PT
34     322 FORMAT(1H,7F12.2)
35     DO 710 K=1,20
36     DO 710 K1=1,24
37     710 R(K*K1)=1.
38     86 WRITE(6,107) N3
39     107 FORMAT(1H,12)
40     READ(5,103) X
41     103 FORMAT(12F6.0)
42     READ(5,104) HOOI
43     104 FORMAT(24I3)
44     READ(5,106)((WL(I,J,LT),LT=1,24),I=1,2),J=1,16)
45     106 FORMAT(12F6.0)
46     1 LTT=1
47     7 READ(5,101) IDAY
48     101 FORMAT(18)

```



```

49      WRITE(6,102) IDAY
50      102 FORMAT(1H,18)
51      8 READ(5,105)LT,HUK00,HU0,HC,INDEX
52      105 FORMAT(516)
53      IF(LT.EQ.0) GO TO 1
54      785 DO 165 H1=1,6
55      U(H1)=FLOAT(HU0)*0.1**4.**0.35
56      165 HUKO(H1)=HUKO0
57      83 CC=FLOAT(HC)*0.01
58      DO 550 J=1,16
59      T1(J,1TT)=0.
60      U1(J,LTT)=0.
61      UAVE1(J,LTT)=0.4
62      UAVE3(J)=0.4
63      550 CONTINUE
64      DO 12 K=1,6
65      J=HUKO(K)
66      IF(J.EQ.0) GO TO 12
67      10 T1(J,1TT)=T1(J,1TT)+1.
68      U1(J,LTT)=U1(J,LTT)+U(K)
69      12 CONTINUE
70      DO 14 J=1,16
71      IF(T1(J,LTT).EQ.0.) GO TO 14
72      UAVE1(J,L11)=U1(J,L11)/T1(J,L11)
73      14 CONTINUE
74      GO TO (6,2,2,2,2),INDEX
75      6 LTT=LTT+1
76      IF(LT.EQ.24) GO TO 7
77      GO TO 8
78      2 DO 16 J=1,16
79      TOT=T1(J,LTT-2)+T1(J,LTT-1)+T1(J,LTT)
80      IF(TOT.EQ.0.) GO TO 16
81      UAVE3(J)=(U1(J,1TT-2)+U1(J,LTT-1)+U1(J,LTT))/TOT
82      16 CONTINUE
83      17 DO 560 N8=1,66
84      CP(N8)=0.
85      560 CONTINUE
86      DO 888 K3=1,20
87      DO 888 K2=1,24
88      888 CPT(K3,K2)=0.
89      DO 570 J=1,16
90      DO 580 I=1,2
91      CL(I,J)=0.
92      580 CONTINUE
93      570 CONTINUE
94      65 SS=0.
95      J=1
96      3 N=1
97      70 IF(HOOI(N).NE.J) GO TO 26
98      IF(LT-2) 993,994,995
99      993 LT1=24
100      LT2=23
101      GO TO 20
102      994 LT1=1
103      LT2=24

```

```

104      GO TO 20
105 995 LTI=LT-1
106     LTI=LT-2
107     20 TLP=X(N)/UAVE3(J)/3600.
108     40 IF(TLP-1.) 21,22,22
109     21 CP(N)=(T1(J,LTI)+T1(J,LTI-1)+T1(J,LTI-2))/18.*QP(LI,N)/(X(N)**
1      1 (1.+BP)*UAVE3(J))*SO2(N)*EXP(-H(N)*H(N)/EP/X(N)**(2.*BP))
110     LTK=LT
111     GO TO 30
112     22 IF(TLP-2.) 23,23,24
113     23 CP(N)=QP(LTI,N)/(X(N)**(1.+BP)*UAVE3(J))*SO2(N)*(T1(J,LTI)
1      1 +T1(J,LTI-1)+T1(J,LTI-2))/18.*EXP(-H(N)*H(N)/EP/X(N)**(2.*BP))
114     LTK=LTI
115     GO TO 30
116     24 IF(TLP-3.) 25,25,26
117     25 CP(N)=QP(LTI,N)/(X(N)**(1.+BP)*UAVE3(J))*SO2(N)*(T1(J,LTI)+
1      1 T1(J,LTI-1)+T1(J,LTI-2))/18.*EXP(-H(N)*H(N)/EP/X(N)**(2.*BP))
118     LTK=LTI
119     GO TO 30
120     30 GO TO (91,91,91,91,91,91,91,91,92,93,93,91,91,91,91,96,96,96,96,
1      1 196,96,96,96,96,96,94,94,94,94,94,94,94,94,96,96,96,96,96,96,
1      1 296,96,91,91,91,92,92,92,92,92,92,92,92,94,92,92,92,91,91,91,91,97,
1      1 394,94,93), N
121     91 NHP=1
122     GO TO 19
123     92 NHP=2
124     GO TO 19
125     93 NHP=3
126     GO TO 19
127     94 NHP=4
128     GO TO 19
129     95 NHP=5
130     GO TO 19
131     96 NHP=6
132     GO TO 19
133     97 NHP=7
134     19 CPT(NHP,LTK)=CP(N)*395./AP+CPT(NHP,LTK)
135     26 N=N+1
136     IF(N=66) 70,70,5
137     5 COEF=0.02/
138     DO 41 I=1,2
139     ALEX=EXP(-ALH*ALH/EP/XL(I)**(2.*BP/(1.+BP)))
140     TLL=XL(I)**(1./(1.+BP))/UAVE3(J)/3600.
141     42 IF(TLL-1.) 43,43,44
142     43 CL(I,J)=QL(I,J,LTI)/(XL(I)*UAVE3(J))*COEF
1      1 *(T1(J,LTI)+T1(J,LTI-1)+T1(J,LTI-2))/18.*ALEX
143     LTK=LTI
144     GO TO 50
145     44 IF(TLL-2.) 45,45,46
146     45 CL(I,J)=QL(I,J,LTI)/(XL(I)*UAVE3(J))*COEF*(T1(J,LTI)
1      1 +T1(J,LTI-1)+T1(J,LTI-2))/18.*ALEX
147     LTK=LTI
148     GO TO 50
149     46 IF(TLL-3.) 47,47,41
150     47 CL(I,J)=QL(I,J,LTI)/(XL(I)*UAVE3(J))*COEF

```



```

194      WRITE(6,981)LT2,(CPT(K3,LT2),K3=1,14),LT1,(CPT(K3,LT1),K3=1,14)
      1,LT,(CPT(K3,LT),K3=1,14)
195 981 FORMAT(1H0,5HTIME=12,7X,14F7.4)
196      DO 4 J=1,16
197      4 WRITE(6,500)J,(T1(J,LT),LTT=1,3),(UAVE1(J,LT),LTT=1,3),UAVE3(J)
198 500 FORMAT(1H ,5X,5HHOO1=12,2X,12HFUUKO HINDO=3F5.1,2X,
      16HUAVE1=3F6.2,2X,6HUAVE3=F6.2)
199      DO 49 J=1,16
200      T1(J,1)=T1(J,2)
201      T1(J,2)=T1(J,3)
202      U1(J,1)=U1(J,2)
203      U1(J,2)=U1(J,3)
204      UAVE1(J,1)=UAVE1(J,2)
205 49 UAVE1(J,2)=UAVE1(J,3)
206      LIT=3
207      GO TO (9,8,7,8,999),INDEX
208      9 NJ=NJ+1
209      IF(NJ.GT.N5) GO TO 999
210      GO TO 86
211 999 STOP
212      END

```

Program Name: ESTIMATIONS OF ξ AND γ

| Program Symbol | Definition |
|----------------|--|
| Input; | |
| QI(I,J) | Emission intensity of a area source at the J-th o'clock in the radius 2km around the i-th monitoring station |
| C0(I,1) | Observed concentration at the I-th monitoring station (initial value) |
| CIN(I,IT) | Estimated C_T value at IT o'clock at the I-th monitoring station |
| Output; | |
| JT | Time |
| A0(L,JT,J) | If L=1, A0 shows a estimated $1/\xi$ and if L=2, A0 shows a estimated γ in the time interval JT-1 to JT+1 |
| A(3) | Value of z |
| FT(J,JT) | Sum of square of errors between estimated and observed concentrations for 3 hours (JT: time, JT=1,22) |
| FF(J) | Sum of FT(J,JT) (JT=1,22) at the J-th monitoring station |
| A3 | Initial value of estimated concentrations |
| A1 | Second value of estimated concentrations |
| A2 | Third value of estimated concentrations |
| C0(I,JT) | Observed concentration of the i-th monitoring station at JT o'clock |

Program Name: ESTIMATIONS OF ξ AND γ

```

1      DIMENSION      F(100),CIN(10,30),CO(10,25),C(10,24),CHAT(10,
124), QI(10,30),A(3),FF(50),A5(7)      ,FT(50,24),AO(2,24,50)
2      ,CI(10,24),CCN(3,24),B(7)
2      CALL DATAON
3      READ(5,100)((QI(I,J),J=1,24),I=1,10)
4      100 FORMAT(12F6.0)
5      N=10
6      READ(5,111) (CO(I,1),I=1,N)
7      111 FORMAT(10F7.0)
8      READ(5,112) ((CIN(I,IT),I=1,N),IT=1,24)
9      112 FORMAT(10F6.0)
10     READ(5,114) ((C(I,IT),I=1,N),IT=1,24)
11     114 FORMAT(10F7.0)
12     DO 37 IT=1,24
13     DO 37 I=1,N
14     CO(I,IT+1)=C(I,IT)
15     37 QI(I,IT)=QI(I,IT)/16.
16     I=3
17     DO 6 L5=1,6
18     L6=L5+24
19     CIN(I,L6)=0.
20     U(L6)=1.0
21     6 QI(I,L6)=1000.
22     7 DO 1 J=1,10
23     FF(J)=0.
24     A(3)=0.00004*FLOAT(J)
25     Z=0.024/A(3)
26     DO 36 JT=1,22
27     DO 4 L1=1,6
28     L2=L1+JT+1
29     4 CCN(L1,JT)=CIN(I,L2)
30     AMIN2=1001.
31     A(1)=0.8
32     DO 17 K0=1,11
33     AMIN0=15.
34     AMIN=100.
35     IF(CO(I,JT).EQ.0.0) GO TO 40
36     CI(I,JT)=CO(I,JT)/5.*(3.8+0.2*FLOAT(K0))
37     GO TO 16
38     40 CI(I,JT)=0.005*FLOAT(K0)-1.0)
39     16 DO 2 M=1,38
40     A(2)=0.5*1.1**M
41     EN=EXP(-A(2)-XK)
42     CHAT(I,JT)=(A(1)*A(2)+CIN(I,JT)+QI(I,JT)*A(3))/(A(2)+XK)+(CI(I,JT)
1      )-(A(1)*A(2)*CIN(I,JT)+QI(I,JT)*A(3))/(A(2)+XK))*EN
43     CHAT(I,JT+1)=(A(1)*A(2)*CIN(I,JT+1)+QI(I,JT+1)*A(3))/(A(2)+XK)+
1(CHAT(I,JT)-(A(1)*A(2)*CIN(I,JT+1)+QI(I,JT+1)*A(3))/(A(2)+XK))*EN
44     PHA1=(CI(I,JT)-CO(I,JT))*2+(CHAT(I,JT)-C(I,JT))*2+(CHAT(I,JT+1)
1      -C(I,JT+1))*2
45     CI(I,JT+1)=CHAT(I,JT)
46     CI(I,JT+2)=CHAT(I,JT+1)
47     F(M)=PHA1
48     IF(F(M).GT.AMIN) GO TO 2
49     AMIN=F(M)
50     K2=M

```

```

51      2 CONTINUE
52      A(2)=0.5*1.1**K2
53      EN=EXP(-A(2)*XK)
54      DO 3 L=1,35
55      A(1)=0.15*1.08**L
56      CHAT(I,JT)=(A(1)*A(2)*CIN(I,JT)+QI(I,JT)*A(3))/(A(2)+XK)+(CI(I,JT
1      )-(A(1)*A(2)*CIN(I,JT)+QI(I,JT)*A(3))/(A(2)+XK))*EN
57      CHAT(I,JT+1)=(A(1)*A(2)*CIN(I,JT+1)+QI(I,JT+1)*A(3))/(A(2)+XK)+
1      1(CHAT(I,JT)-(A(1)*A(2)*CIN(I,JT+1)+QI(I,JT+1)*A(3))/(A(2)+XK))*EN
58      PHAI=(CI(I,JT)-CO(I,JT))*2+(CHAT(I,JT)-C(I,JT))*2+(CHAT(I,JT+1)
1      -C(I,JT+1))*2
59      CI(I,JT+1)=CHAT(I,JT)
60      CI(I,JT+2)=CHAT(I,JT+1)
61      F(L)=PHAI
62      IF(F(L).GT.AMIN) GO TO 3
63      AMIN=F(L)
64      K3=L
65      3 CONTINUE
66      A(1)=0.15*1.08**K3
67      IF(AMIN0.EQ.AMIN) GO TO 39
68      AMIN0=AMIN
69      GO TO 15
70      39 IF(AMIN0.GT.AMIN2) GO TO 17
71      K5=K3
72      K4=K2
73      K6=K0
74      AMIN2=AMIN0
75      17 CONTINUE
76      A0(2,JT,J)=0.5*1.1**K4
77      A0(1,JT,J)=0.15*1.08**K5
78      IF(CO(I,JT).EQ.0.0) GO TO 41
79      CI(I,JT)=CO(I,JT)/5.*(2.6+0.4*FLOAT(K6))
80      GO TO 42
81      41 CI(I,JT)=0.005*(FLOAT(K6)-1.0)
82      42 B1=A0(1,JT,J)
83      B2=A0(2,JT,J)
84      B3=A(3)
85      A3=CI(I,JT)
86      A1=(B1*B2*CIN(I,JT)+QI(I,JT)*B3)/(B2+XK)+(A3-(B1*B2*CIN(I,JT)+
1      QI(I,JT)*B3)/(B2+XK))*EXP(-B2-XK)
87      A2=(B1*B2*CIN(I,JT+1)+QI(I,JT+1)*B3)/(B2+XK)+(A1-(B1*B2*CIN(I,JT+1)
1      )+QI(I,JT+1)*B3)/(B2+XK))*EXP(-B2-XK)
88      FT(J,JT)=AMIN2/(CO(I,JT)+C(I,JT)+C(I,JT+1))*2/9.
89      FF(J)=FF(J)+FT(J,JT)
90      WRITE(6,901) JT,A0(1,JT,J),A0(2,JT,J),A(3),FT(J,JT),FF(J),A3,A1,
1      A2,CO(I,JT),CO(I,JT+1),CO(I,JT+2)
91      901 FORMAT(1H0, 5X,5HTIME=12.3X,4HALP=F8.5,5X,4HGAM=F9.3,5X,5HBFTA=F1
1      1.5,4X,2HFF=E14.6,3X,3HFF=E14.6/2X,6F11.3)
92      36 CONTINUE
93      1 CONTINUE
94      STOP
95      END

```

Program Name: ESTIMATION OF HOURLY AVERAGE
CONCENTRATION AT THE CENTER STATION

| Program Symbol | Definition |
|----------------|---|
| Input; | |
| ALHA(I) | Parameter η_0 (I=1,24) |
| Q(I,J) | Emission intensity of a area source in the radius 2km around the Center Station (I=3, the Center Station's number) (J=1,24) |
| IDAY | Date |
| JF,JT1,JT2 | Unavailable parameters |
| IP1 | Time |
| IP2 | Mean wind direction in the Osaka district |
| IP3 | Mean wind speed in the Osaka district |
| IP4 | Rain intensity |
| IP5 | Index for a continuation of simulation |
| IP6 | Spacely averaged value of observed concentrations in the Osaka district |
| IP7 | Insolation |
| IP8 | Cloudiness |
| IP9 | Observed concentration at the Center Station |
| IP10 | Concentration transported inversely |
| IP11 | Estimated C_T |
| IP12 | Wind speed at the Center Station |
| IP13 | Estimated Z by regression equations |
| Output; | |
| CNI(I) | Estimated C_T at a monitoring station at I o'clock |
| C(I) | Observed concentration at a monitoring station at I o'clock |
| W(I) | Mean wind speed in the Osaka district |
| CINS(I) | Concentration transported inversely |
| XK(I) | Rain intensity |

Output (continued)

| | |
|-----------|--|
| AG(I1) | Ventilation rate of a perfectly mixed zone by a horizontal wind speed |
| AG5(I) | A term of a vertical eddy diffusivity |
| U(I) | Wind speed at the Center Station at I o'clock |
| ZH(I) | Estimated Z at I o'clock |
| AGZ(I) | Estimated $1/\xi$ in a term from I-2 to I o'clock |
| CIN(I) | CINS(I)+CNI(I) |
| GZ(I) | Estimated ξ in a term from I-2 to I o'clock |
| I | Time |
| ZZ | Parameter z |
| LM1 | Time |
| C(LM1) | Observed concentration at the Center Station at LM1 o'clock |
| CHAT(LM1) | Estimated concentration at the Center Station at LM1 o'clock |
| GAM11 | Estimated γ at LM1 o'clock |
| LM2 | LM1+1 o'clock |
| LM3 | LM1+2 o'clock |
| ALHA1 | Adaptive parameter η at LM1-LM2 o'clock |
| ALHA2 | Adaptive parameter η at LM2-LM3 o'clock |
| BARA | Adaptive parameter η' |
| KT,KTT | Time of prediction |
| GAM | Parameter γ for a prediction of concentration |
| IT | Parameter z for a prediction of concentration |
| ABA | Adaptive parameter η for a prediction of concentration |
| AVER(KPP) | Normalized standard deviation of a estimated concentration around observed value |
| BVAR(KPP) | Numbers of estimations |

Program Name: ESTIMATION OF HOURLY AVERAGE
CONCENTRATION AT THE CENTER STATION

```

C      KYOKUCHI USFN NO YUSOU
1      DIMENSION Q(10,24),ZH(30),C(25),CIN(30),AG(30),AGZ(30),AG5(30)
      1,XK(33),CHAT(25),CINS(33),GZ(24),ZKH(30),W(30),CNI(30),U(30)
      3,A,LLA(150),ALHA(24),ALA(150),ALH(150)
      4,AVAR(24),BVAR(24)
2      AP=1.
3      WT=1.
4      IST=1
5      READ(5,100) (ALHA(I),I=1,24)
6      READ(5,100) ((Q(I,J),J=1,24),I=1,10)
7      100 FORMAT(12F6.0)
8      IP5=1
9      N=10
10     70=15.
11     A3=0.0241
12     RETA=0.4
13     GA=70**BETA
14     DO 10 IT=1,24
15     AVAR(IT)=0.
16     BVAR(IT)=0.
17     10 Q(3,IT)=Q(3,IT)/16.
18     31 READ(5,101) IDAY
19     IF(IDAY.EQ.0) GO TO 34
20     101 FORMAT(I8)
21     IF(IP5.EQ.5) GO TO 33
22     37 IAR=0
23     IF(IP9.EQ.100) GO TO 28
24     GO TO (28,33,28,28,33),IP5
25     28 IAA=1
26     DO 12 I1=1,12
27     READ(5,102) IP1,IP2,IP3,IP4,IP5,IP6,IP7,IP8,IP9,IP10,IP11,IP12,IP13
28     102 FORMAT(13I6)
29     IPL=1
30     I=IP1
31     IF(IP12.EQ.0) GO TO 37
32     IF(IP9.EQ.100) IAA=0
33     CNI(I)=FLOAT(IP11)*0.0001
34     C(I)=FLOAT(IP9)*0.01
35     U(I)=FLOAT(IP12)*0.1
36     W(I)=FLOAT(IP3)*0.001
37     ZH(I)=FLOAT(IP13)
38     CINS(I)=FLOAT(IP10)*0.0001
39     XK(I)=FLOAT(IP4)*0.01*0.47
40     IF(IAA.EQ.0) GO TO 37
41     IAA=IAA+1
42     IF(IAA.EQ.2) IST=IP1
43     27 I1=I-1
44     IF(I.EQ.1) I1=24
45     AG(I1)=(U(I1)+U(I))*0.45
46     AG5(I1)=0.0104*0.4*3600./GA*AG(I1)/0.4
47     IF(I-2) 5,6,7
48     5 LT1=23
49     LT2=24
50     GO TO 8

```

```

51      6 LT1=24
52      LT2=1
53      GO TO 8
54      7 LT1=1-2
55      LT2=1-1
56      8 AG7(I)=1./(0.000276*((ZH(LT1)+ZH(LT2)+ZH(1))/3.))**1.4)
57      IF(IAB.EQ.0) AP=AGZ(I)
58      IAR=1
59      IF(AGZ(I).GT.1.5) AGZ(I)=1.5
60      CIN(I)=CNI(I)*AGZ(I)+CINS(I)
61      GZ(I)=1./AGZ(I)
62      WK1=IF(6.103) CNI(I),C(I),W(I),CINS(I),XK(I),AG(I),AG5(I),U(I),
      1 7H(I),AGZ(I),CIN(I),GZ(I) ,1
63      12 CONTINUE
64      33 READ(5,102) IP1,IP2,IP3,IP4,IP5,IP6,IP7,IP8,IP9,IP10,IP11,IP12
      1 ,IP13
65      J=IP1
66      CNI(J)=FLOAT(IP11)*0.0001
67      C(J)=FLOAT(IP9)*0.01
68      W(J)=FLOAT(IP3)*0.001
69      ZH(J)=FLOAT(IP13)
70      XK(J)=FLOAT(IP4)*0.01*0.47
71      CINS(J)=FLOAT(IP10)*0.0001
72      CINS(J)=0.
73      U(J)=FLOAT(IP12)*0.1
74      IF(IP5.EQ.4) JSTOP=24
75      IF(IP5.NE.4) JSTOP=60
76      14 IF(IST=23) 26,16,17
77      26 LM1=IST
78      LM2=IST+1
79      LM3=IST+2
80      GO TO 18
81      16 LM1=23
82      LM2=24
83      LM3=1
84      GO TO 18
85      17 LM1=24
86      LM2=1
87      LM3=2
88      18 BUNPO=(C(LM1)+C(LM2)+C(LM3))*2/9.0
89      IF(LM3.EQ.24.AND.IP5.EQ.4) GO TO 31
90      IF(IP5.EQ.4) GO TO 35
91      J1=J-1
92      IF(J.EQ.1) J1=24
93      AG(J1)=(U(J1)+U(J))*0.45
94      AG5(J1)=0.0104*0.4*3600./G4*AG(J1)/0.9
95      IF(J=2) 9,20,21
96      9 LT1=23
97      LT2=24
98      GO TO 22
99      20 LT1=24
100     LT2=1
101     GO TO 22
102     21 LT1=J-2

```

```

103      LT2=J-1
104      22 AGZ(J)=1./ (0.000276*((ZH(LT1)+ZH(LT2)+ZH(J))/3.))*1.4)
105      GZ(J)=1./AGZ(J)
106      CIN(J)=CIN(J)*AGZ(J)+CINS(J)
107      WRITE(6,103) CH(J),C(J),W(J),CINS(J),XK(J),AG(J1),AG5(J1),U(J),
1      ZH(J),AGZ(J),CIN(J),GZ(J),J
103  FORMAT(1H,12F9.4,2X,13)
109      35 ALP11=AG(LM1)/G4/(1.+BETA)
110      ALP12=AG5(LM1)
111      ALP13=1080.
112      ALP21=AG(LM2)/G4/(1.+BETA)
113      ALP22=AG5(LM2)
114      ALP23=1080.
115      RITA=0.811
116      Z=0.169**B/ITA *ZH(LM2)
117      G=7**BETA
118      GAM1=ALP11*G+ ALP12*G/Z+ALP13/Z/Z
119      GAM2=ALP21*G+ALP22*G/Z+ALP23/Z/Z
120      EX1=EXP(-GAM1-XK(LM1))
121      EX2=EXP(-GAM2-XK(LM2))
122      ZGK1=Z*(GAM1+XK(LM1))
123      ZGK2=Z*(GAM2+XK(LM2))
124      C11=C(LM1)
125      C22=C11*EX1+(1.-EX1)*(U(3,LM1)*A3+AP*Z*CIN(LM1)*GAM1)/ZGK1
126      C33=C22*EX2+(1.-EX2)*(U(3,LM2)*A3+AP*Z*CIN(LM2)*GAM2)/ZGK2
127      ALHA1=(C(LM2)-C11*EX1)/(U(3,LM1)*A3+AP*Z*CIN(LM1)*GAM1)
1      /(1.-EX1)*ZGK1
128      ALHA2=(C(LM3)-C(LM2)*EX2)/(U(3,LM2)*A3+AP*Z*CIN(LM2)*GAM2)
1      /(1.-EX2)*ZGK2
129      CHAT(LM1)=C11
130      CHAT(LM2)=C22
131      CHAT(LM3)=C33
132      GAM11=GAM1
133      GAM22=GAM2
134      ZZ=Z
135      WRITE(6,111) ZZ
136      111 FORMAT(1H,1X,4HTIME,4X,6HS,NODO,6X,4HCHAT,3X,7HTRANS,C,5X,5HINV,C
1,6X,4HGZAI,5X,5HGAMMA,3X,7HRAINOUT,5X,5HMIIX,H,4X,3HW,V,2X,6HMIIX,Z=
2F10.2)
137      WRITE(6,110) LM1,C(LM1),CHAT(LM1),CIN(LM1),CINS(LM1),GZ(LM1),
1 GAM11,XK(LM1),ZH(LM1),U(LM1),LM2,C(LM2),CHAT(LM2),CIN(LM2),
2 CINS(LM2),GZ(LM2),GAM22,XK(LM2),ZH(LM2),U(LM2),LM3,C(LM3),
3 CHAT(LM3),ALHA1,ALHA2
138      110 FORMAT(1H,2(15,5F10.4,4X,3F10.3,4X,F7.3/1H),1H,15,2F10.4,
1 5HLAM1=F7.3,5HLAM2=F7.3)
139      IF(LM3.FW.JSTOP) GO TO 25
140      ALA(IPL)=ALHA1
141      ALB(IPL+1)=ALHA2
142      ALLA(IPL)=ALHA(LM1)
143      ALLA(IPL+1)=ALHA(LM2)
144      IF(IPL.LT.4) GO TO 25
145      BARA=(ALA(IPL-3)*ALLA(IPL-3)*WT**4+(ALA(IPL-2)+ALB(IPL-2))*0.5
1 *ALLA(IPL-2)*WT**3+(ALA(IPL-1)+ALB(IPL-1))*0.5*ALLA(IPL-1)*WT
2**2+ALLA(IPL)*(ALA(IPL)+ALB(IPL))*0.5*WT+ALB(IPL+1)*ALLA(IPL+1))

```

```

3      / (ALLA(IPL=3)**2**T**4+ALLA(IPL=2)**2**T**3+ALLA(IPL=1)**2
4      **T**2+ALLA(IPL)**2**T+ALLA(IPL+1)**2)
146    WRITE(6,114)      PARA
147    114 FORMAT(1H+,70X,5HPARA=F10.4)
148      CHAT(LM3)=C(LM3)
149      DO 29 KP=1,8
150      KT=LM2+KP
151      IF(KT.GT.24) KT=LM2+KP-24
152      IF(LM2+KP.GT.JSTOP) GO TO 25
153      ZT=0.169**BITA*ZH(KT)
154      GT=7T**BETA
155      GAM=AG(KT)/G4/(1.+BETA)*GT+AG5(KT)*GT/ZT+ALP13/ZT/ZT
156      GZ(KT)=1./AGZ(KT)
157      EX1=EXP(-GAM*XK(KT))
158      ABA=ALHA(KT)*BAQA
159      CHAT(KT+1)=CHAT(KT)*EX1+(1.-EX1)*(C(3,KT)*A3+CIN(KT)*AP*2T
1      *GAM)/(GAM+XK(KT))/ZT*ARA
160      IF(KT.EQ.24) CHAT(1)=CHAT(25)
161      KW=KT+1
162      IF(KW.EQ.25) KW=1
163      BVAR(KP)=BVAR(KW)+1
164      AVAR(KP)=(CHAT(KT+1)-C(KW))**2+AVAR(KP)
165      WRITE(6,113) KT, C(KT), CHAT(KT), CIN(KT), CINS(KT), GZ(K
      T), GAM, XK(KT), ZH(KT), U(KT), ZT, ARA
113 113 FORMAT(1H+,15,5F10.4,4X,3F10.3,4X,F7.3,5X,F7.2,F6.2)
166    29 CONTINUE
167      KTT=KT+1
168      IF(KTT.EQ.25) KTT=1
169      WRITE(6,112) KTT, C(KTT), CHAT(KT+1)
170    112 FORMAT(1H+,15,2F10.4)
171    25 IST=IST+1
172      IPL=IPL+1
173      IF(IST.EQ.25) IST=IST-24
174    23 GO TO (33,33,31,14,31),IP5
175    24 GO TO 31
176    34 DO 38 KPP=1,8
177    38 AVAR(KPP)=(AVAR(KPP)/BVAR(KPP))**0.5
178      WRITE(6,104) (AVAR(I),I=1,8),(BVAR(I),I=1,8)
179    104 FORMAT(1H+,5X,8F13.4/6X,8I13)
180    127 STOP
181    END
182

```

Program Name: EMISSION CONTROL

| Program Symbol | Definition |
|----------------|---|
| Input; | |
| QA(I,J) | Emission intensity in the I perfectly mixed zone at J o'clock
(I=1,7), (J=1,24) |
| QAT(JT,I) | Total emission intensity in the JT emission control region at I o'clock
(JT=1,7), (I=1,24) |
| RR(I) | Control rate (I=1,3) |
| A3(J) | Coefficient of parameter z (J=1,7) |
| C0(J) | Observed concentration at the J monitoring station (J=1,7) |
| CA1(I,JT,J) | Estimated C_T at the J station by sources in the J region emitted from 2-3 before |
| CA2(I,JT,J) | Estimated C_T at the J station by sources in the J region emitted from 1-2 before |
| CA3(I,JT,J) | Estimated C_T at the J station by sources in the J region emitted from 0-1 before
(I=1,7), (JT=1,24), (J=1,7) |
| GAM(J,JT) | Parameter γ for a estimation of concentration at the J station at JT o'clock (J=1,7), (JT=1,24) |
| Output; | |
| ITO | Time |
| CM0(IT8,JX) | Estimated concentration at the JX monitoring station at IT8 hours in advance |
| MAX1-MAX7 | Number for the method of emission control |
| AMAX | Controlled emission intensity |
| R(I,JT,M) | Optimal control rate of the I control region at JT hours in advance,
M showing a method of control
(I=1,7), (JT=1,6), (M=1,13) |
| CD(I,J) | Estimated concentration of I hours in advance at the J monitoring station in case of assuming the optimal control
(I=1,6), (J=1,7) |

Program Name: EMISSION CONTROL

```

1      DIMENSION RR(6),GAM(7,6),A1(7,8),CT(6,7,13),C(6,7),R(7,6,13)
1      ,QAT(24,7),A3(7),CO(7),CA11(6,7,13),CA21(6,7,13),CA31(6,7,13)
2      ,CA12(6,7,13),CA22(6,7,13),CA32(6,7,13),CA41(6,7,13),CA42(6,7,
3      13),CA43(6,7,13),CA51(6,7,13),CA52(6,7,13),CA53(6,7,13),
4      CA61(6,7,13),CA62(6,7,13),CA63(6,7,13),CA71(6,7,13),CA72(6,7,
5      13),CA73(6,7,13),CA1(7,6,7),CA2(7,6,7),CA3(7,6,7),CA4(7,6,7),
6      CA13(6,7,13),CA23(6,7,13),CA33(6,7,13),QA(24,7),A(7,6),
7      CA5(7,6,7),CA6(7,6,7),R1(7),R2(7),R3(7),CD(6,7),C2(7)
8      ,CT3(8,8),CMC(8,8)
2      READ(5,100) ((QA(JT,I),JT=1,24),I=1,7),(RR(I),I=1,3),
1      (QAT(I,3),QAT(I,4),QAT(I,5),QAT(I,6),QAT(I,7),QAT(I,1)
2      ),I=1,24), (A3(J),J=1,7)
3      100 FORMAT(14(12F6.0/),3F10.0/24(7F10.0/),7F10.0)
4      ITD=24
5      XK=0.
6      CLIM=0.2
7      RTW=0.0625
8      N=7
9      NN=3
10     MAX=13
11     DO 17 KM=1,MAX
12     DO 17 J1=1,6
13     DO 17 J2=1,7
14     17 R(J2,J1,KM)=1.
15     DO 5 J=1,N
16     DO 6 JTR1=1,NN
17     DO 7 JTM=1,4
18     M=4*(JTR1-1)+1+JTM
19     DO 8 JST=1,5-JTM
20     JSS=JST+JTM+1
21     R(J,JSS,M)=RR(JTR1)
22     8 CONTINUE
23     6 CONTINUE
24     5 CONTINUE
25     5 CONTINUE
26     READ(5,101) (CO(J),J=1,7),((((CA1(I,JT,J),I=1,7),(CA2(I,JT,J),I=1
1      ,7),(CA3(I,JT,J),I=1,7)),J=1,7),(A(J,JT),J=1,7),(GAM(J,JT),J=1,
2      7)),JT=1,5)
27     101 FORMAT(7F8.0/4(21(7F8.0/),2(7F6.0/)),21(7F8.0/),7F6.0/7F6.0)
28     35 READ(5,102) (((CA1(I,6,J),I=1,7),(CA2(I,6,J),I=1,7),(CA3(I,6,J),
1      I=1,7)),J=1,7), (A(J,6),J=1,7),(GAM(J,6),J=1,7)
29     102 FORMAT(21(7F8.0/),7F6.0/7F6.0)
30     IF (CA1(1,6,1).EQ.100.) GO TO 999
31     DO 15 JX=1,7
32     C2(JX)=CJ(JX)
33     CSE=C2(JX)
34     DO 15 IT8=1,6
35     AKK=0.
36     DO 9 IT9=1,7
37     9 AKK=AKK+CA1(IT9,IT8,JX)+CA2(IT9,IT8,JX)+CA3(IT9,IT8,JX)
38     C13(IT8,JX)=AKK
39     ENN=EXP(-GAM(JX,I(8)))
40     CMU(IT8,JX)=CSE * ENN+(1.-ENN)*(A(JX,I(8))*C13(IT8,JX)+QA(IT8+IT

```

```

      1  = (JX)*RTH*AJ(JX)/GAM(JX,ITR))
41      15 CSF=CMO(ITD,JX)
42      WRITE(6,154) ITC, ((CMO(ITB,JX),ITB=1,6),JX=1,7)
43 104  FORMAT(1H,5X,15,7(6F12.3/11X),
44      ITR=2
45      I^=1
46      IJK=0
47      DO 18 M=1,MAX
48      DO 18 J=1,7
49      DO 18 JT=1,6
50      IF(M.EQ.1) GO TO 20
51      IF(JT.GT.4) GO TO 26
52      GO TO (20,20,21,22),JT
53 20 DO 23 J5=1,7
54      R1(J5)=1.0
55      R2(J5)=1.0
56 23 R3(J5)=1.
57      GO TO 28
58 21 DO 24 J5=1,7
59      R1(J5)=1.
60      R2(J5)=1.
61 24 R3(J5)=R(J5,JT,M)
62      GO TO 28
63 22 DO 25 J5=1,7
64      R1(J5)=1.
65      R2(J5)=R(J5,JT,M)
66 25 R3(J5)=R(J5,JT,M)
67      GO TO 28
68 26 DO 27 J5=1,7
69      R1(J5)=R(J5,JT,M)
70      R2(J5)=R(J5,JT,M)
71 27 R3(J5)=R(J5,JT,M)
72 28 CA11(JT,J,M)=CA1(1,JT,J)*R1(1)
73      CA21(JT,J,M)=CA1(2,JT,J)*R1(2)
74      CA31(JT,J,M)=CA1(3,JT,J)*R1(3)
75      CA41(JT,J,M)=CA1(4,JT,J)*R1(4)
76      CA51(JT,J,M)=CA1(5,JT,J)*R1(5)
77      CA61(JT,J,M)=CA1(6,JT,J)*R1(6)
78      CA71(JT,J,M)=CA1(7,JT,J)*R1(7)
79      CA12(JT,J,M)=CA2(1,JT,J)*R2(1)
80      CA22(JT,J,M)=CA2(2,JT,J)*R2(2)
81      CA32(JT,J,M)=CA2(3,JT,J)*R2(3)
82      CA42(JT,J,M)=CA2(4,JT,J)*R2(4)
83      CA52(JT,J,M)=CA2(5,JT,J)*R2(5)
84      CA62(JT,J,M)=CA2(6,JT,J)*R2(6)
85      CA72(JT,J,M)=CA2(7,JT,J)*R2(7)
86      CA13(JT,J,M)=CA3(1,JT,J)*R3(1)
87      CA23(JT,J,M)=CA3(2,JT,J)*R3(2)
88      CA33(JT,J,M)=CA3(3,JT,J)*R3(3)
89      CA43(JT,J,M)=CA3(4,JT,J)*R3(4)
90      CA53(JT,J,M)=CA3(5,JT,J)*R3(5)
91      CA63(JT,J,M)=CA3(6,JT,J)*R3(6)
92      CA73(JT,J,M)=CA3(7,JT,J)*R3(7)
93 18 CONTINUE
94      M6=1

```



```

95      APAX=C.
96      DO 31 M1=1,MAX
97      M3=M1
98      M4=M1
99      DO 31 M2=1,MAX
100     M5=M2
101     DO 31 M7=1,MAX
102     DO 32 J=1,7
103     GO TO (51,52,53,54,55,56,57).J
104     51 MT=M1
105     GO TO 40
106     52 MT=M2
107     GO TO 40
108     53 MT=M3
109     GO TO 40
110     54 MT=M4
111     GO TO 40
112     55 MT=M5
113     GO TO 40
114     56 MT=M6
115     GO TO 40
116     57 MT=M7
117     40 DO 34 JT=1,6
118     JTH=JT+IT0
119     IF(JTH.LE.24) GO TO 37
120     JTH=JT+IT0-24
121     37 CBSUM=CA11(JT,J,M1)+CA12(JT,J,M1)+CA13(JT,J,M1)+CA21(JT,J,M2)+
1     CA22(JT,J,M2)+CA23(JT,J,M2)+CA31(JT,J,M3)+CA32(JT,J,M3)+
2     CA33(JT,J,M3)+CA41(JT,J,M4)+CA42(JT,J,M4)+CA43(JT,J,M4)+CA
4     51(JT,J,M5)+CA52(JT,J,M5)+CA53(JT,J,M5)+CA61(JT,J,M6)+CA62(J
6     ,J,M6)+CA63(JT,J,M6)+CA71(JT,J,M7)+CA72(JT,J,M7)+CA73(JT,J,M
122     IF(JT.LE.2) GO TO 58
123     RTT=R(J,JT,MT)
124     GO TO 59
125     58 RTT=1.
126     59 EN=EXP(-GAM(J,JT)-XK)
127     C(JT,J)=C2(J)*EN+(1.-EN)*(A(J,JT)*CBSUM*GAM(J,JT)/(GAM(J,JT)+
1     XK)+WA(JTH,J)*RTT*RTR *A3(J)/GAM(J,JT))
128     C2(J)=C(JT,J)
129     IF(JT.LE.2) GO TO 34
130     IF(C(JT-1,J).LT.CLIM) GO TO 34
131     IF(C(JT,J).LT.CLIM) GO TO 34
132     GO TO 888
133     34 CONTINUE
134     32 CONTINUE
135     IF(M1.GT.1) GO TO 61
136     IF(M2.GT.1) GO TO 61
137     IF(M7.GT.1) GO TO 61
138     IF I=1
139     GO TO 62
140     61 Q=0.
141     DO 41 JCC=1,4
142     JTT=IT0+JCC+2
143     JCR=JCC+2
144     IF(JTT.LE.24) GO TO 64

```

```

145      JTI=JTI-24
146      64 Q=Q+QAT(JTI,1)*R(1,JCR,M1)+QAT(JTI,2)*R(2,JCR,M2)
      1 +QAT(JTI,3)*R(3,JCR,M3)+QAT(JTI,4)*R(4,JCR,M4)
      2 +QAT(JTI,5)*R(5,JCR,M5)+QAT(JTI,6)*R(6,JCR,M6)
      3 +QAT(JTI,7)*R(7,JCR,M7)
147      41 CONTINUE
148      IF(Q.LT.AMAX) GO TO 888
149      DO 48 JP=1,7
150      DO 49 JT=1,6
151      49 C(JT,JP)=C(JT,JP)
152      38 CONTINUE
153      AMAX=Q
154      MAX1=M1
155      MAX2=M2
156      MAX3=M3
157      MAX4=M4
158      MAX5=M5
159      MAX6=M6
160      MAX7=M7
161      888 CONTINUE
162      31 CONTINUE
163      WRITE(5,113) IT0
164      113 FORMAT(1H,5HTIME=I3)
165      WRITE(6,103) MAX1,MAX2,MAX3,MAX4,MAX5,MAX6,MAX7,AMAX
      1 *(R(1,JT,MAX1)*R(2,JT,MAX2)*R(3,JT,MAX3)*R(4,JT,MAX4)*R(5,JT,
      2 AX5)*R(6,JT,MAX6)*R(7,JT,MAX7) , JI=1,6),((C(I,J),I=1,6),
      4 (CM0(I,J),I=1,6),J=1,7)
166      103 FORMAT(1H0,7I6, E14.6/5*,6(7F10.3/5X)/1X,7(6F9.3,6X,6F8.3/5X))
167      62 JTD=IT0+3
168      IF(JTD.LE.24) GO TO 65
169      JTL=JTD-24
170      65 DO 44 J=1,7
171      C(J)=C(1,J)
172      DO 38 JK=1,5
173      A(J,JK)=A(J,JK+1)
174      GAM(J,JK)=GAM(J,JK+1)
175      DO 38 I=1,7
176      CA1(I,JK,J)=CA1(I,JK+1,J)
177      CA2(I,JK,J)=CA2(I,JK+1,J)
178      38 CA3(I,JK,J)=CA3(I,JK+1,J)
179      IF(I.EQ.1) GO TO 44
180      CA1(1,4,J)=CA11(5,J,MAX1)
181      CA1(2,4,J)=CA21(5,J,MAX2)
182      CA1(3,4,J)=CA31(5,J,MAX3)
183      CA1(4,4,J)=CA41(5,J,MAX4)
184      CA1(5,4,J)=CA51(5,J,MAX5)
185      CA1(6,4,J)=CA61(5,J,MAX6)
186      CA1(7,4,J)=CA71(5,J,MAX7)
187      CA2(1,3,J)=CA12(4,J,MAX1)
188      CA2(2,3,J)=CA22(4,J,MAX2)
189      CA2(3,3,J)=CA32(4,J,MAX3)
190      CA2(4,3,J)=CA42(4,J,MAX4)
191      CA2(5,3,J)=CA52(4,J,MAX5)
192      CA2(6,3,J)=CA62(4,J,MAX6)
193      CA2(7,3,J)=CA72(4,J,MAX7)

```

```

194      CAJ(1,2,J)=CA13(3,J,MAX1)
195      CAJ(2,2,J)=CA23(3,J,MAX2)
196      CAJ(3,2,J)=CA33(3,J,MAX3)
197      CAJ(4,2,J)=CA43(3,J,MAX4)
198      CAJ(5,2,J)=CA53(3,J,MAX5)
199      CAJ(6,2,J)=CA63(3,J,MAX6)
200      CAJ(7,2,J)=CA73(3,J,MAX7)
201  44 CONTINUE
202      ITO=ITO+1
203      IF ITO.LE.24) GO TO 35
204      ITO=1
205  60 GO TO 35
206  99+ STOP
207      END

```